

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6590064号
(P6590064)

(45) 発行日 令和1年10月16日 (2019. 10. 16)

(24) 登録日 令和1年9月27日 (2019. 9. 27)

(51) Int. Cl.	F 1
B 2 5 J 17/00 (2006. 01)	B 2 5 J 17/00 K
F 1 6 H 21/46 (2006. 01)	F 1 6 H 21/46

請求項の数 6 (全 96 頁)

(21) 出願番号	特願2018-237362 (P2018-237362)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成30年12月19日 (2018. 12. 19)		三菱電機株式会社
(62) 分割の表示	特願2018-529315 (P2018-529315) の分割		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
原出願日	平成29年9月11日 (2017. 9. 11)	(74) 代理人	100108431
(65) 公開番号	特開2019-59018 (P2019-59018A)		弁理士 村上 加奈子
(43) 公開日	平成31年4月18日 (2019. 4. 18)	(74) 代理人	100153176
審査請求日	平成30年12月19日 (2018. 12. 19)		弁理士 松井 重明
(31) 優先権主張番号	特願2016-205947 (P2016-205947)	(74) 代理人	100109612
(32) 優先日	平成28年10月20日 (2016. 10. 20)		弁理士 倉谷 泰孝
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)	(72) 発明者	川口 昇
早期審査対象出願			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内
		(72) 発明者	山内 秀孝
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

胸部と、

前記胸部の上部の左右に直列に接続した上腕部、前腕部、および手部を有する左右一対の上肢部と、

左右の前記前腕部をそれぞれ前記上腕部に2回転自由度で回転可能に接続する左右一対の肘部とを備え

前記肘部は、

前記前腕部と前記上腕部を2回転自由度で回転可能に接続する肘関節部、

長さが決まった肘部駆動主リンク、

長さが決まった肘部駆動補助リンク、

前記肘部駆動主リンクの一端が少なくとも2回転自由度を有して回転可能に取付けられる前記前腕部に設けられた前腕側主リンク取付部、

前記肘部駆動補助リンクの一端が少なくとも2回転自由度を有して回転可能に取付けられる前記肘部駆動主リンクに設けられた肘部駆動主リンク側補助リンク取付部、

前記肘部駆動主リンクおよび前記肘部駆動補助リンクの他端がそれぞれ少なくとも2回転自由度を有して回転可能に取付けられ、前記上腕部に沿って移動可能に前記上腕部に設けられた2個の上腕側リンク取付部、

2個の前記上腕側リンク取付部をそれぞれ移動させる移動部材、前記移動部材が前記上腕部に沿って移動するガイド部、前記ガイド部に対する前記移動部材の位置を変更する

力を発生させる動力源とをそれぞれ有する2本のリニアアクチュエータを有する、ロボット。

【請求項2】

左右の前記上腕部をそれぞれ前記胸部に2回転自由度で回転可能に接続する左右一对の肩部を備え、

前記肩部は、

前記胸部の上部の左右それぞれの端部から前記胸部の中心から遠い側でかつ後方側に延びた回転軸の回りの回転と前記回転軸と前記上腕部とがなす角度を変更する回転とが可能である2回転自由度で回転可能に前記上腕部を前記胸部に接続する肩関節部、

前記肩関節部よりも下側の位置で前記胸部に設けられた胸側主リンク取付部、

前記上腕部に設けられた上腕部主リンク取付部、

前記上腕部主リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ前記胸側主リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さを変更可能な上腕部駆動主リンク、および前記上腕部駆動主リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動主アクチュエータ、

前記肩関節部よりも下側かつ前記上腕部主リンク取付部とで前後方向に前記肩関節部を挟む位置の前記胸部に設けられた胸側補助リンク取付部、

前記上腕部駆動主リンクに設けられた上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部、

前記上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ前記胸側補助リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さを変更可能な上腕部駆動補助リンク、および前記上腕部駆動補助リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動補助アクチュエータを有する、請求項1に記載のロボット。

【請求項3】

前記上肢部の正面方向が前記胸部の正面方向に対して外側を向いている、請求項1または請求項2に記載のロボット。

【請求項4】

胸部と、

前記胸部の上部の左右に直列に接続した上腕部、前腕部、および手部を有する左右一对の上肢部と、

左右の前記上腕部をそれぞれ前記胸部に2回転自由度で回転可能に接続する左右一对の肩部とを備え、

前記肩部は、

前記胸部の上部の左右それぞれの端部から前記胸部の中心から遠い側でかつ後方側に延びた回転軸の回りの回転と前記回転軸と前記上腕部とがなす角度を変更する回転とが可能である2回転自由度で回転可能に前記上腕部を前記胸部に接続する肩関節部、

前記肩関節部よりも下側の位置で前記胸部に設けられた胸側主リンク取付部、

前記上腕部に設けられた上腕部主リンク取付部、

前記上腕部主リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ前記胸側主リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さを変更可能な上腕部駆動主リンク、および前記上腕部駆動主リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動主アクチュエータ、

前記肩関節部よりも下側かつ前記上腕部主リンク取付部とで前後方向に前記肩関節部を挟む位置の前記胸部に設けられた胸側補助リンク取付部、

前記上腕部駆動主リンクに設けられた上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部、

前記上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ前記胸側補助リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さを変更可能な上腕部駆動補助リンク、および前記上腕部駆動補助リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動補助アクチュエータを有する、ロボット。

【請求項5】

前記上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部が、前記上腕部駆動主リンクと前記上腕部

10

20

30

40

50

駆動補助リンクとが存在する平面内での1回転自由度で回転可能である、請求項2または請求項4に記載のロボット。

【請求項6】

前記胸部が上方に接続する腰部と、

前記腰部の下部の左右に直列に接続した大腿部、下腿部および足部をそれぞれ有する左右一対の下腿部とをさらに備えた請求項1から請求項5の何れか1項に記載のロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、人に近い動きができるロボットに関する。

10

【背景技術】

【0002】

人と同様に、胴体、両腕、両脚、頭を有する人型ロボットが開発されている。従来の人型ロボットでは、関節部にモータとギヤを配置し、その軸上に関節交点を配置しているタイプが一般的である。そのような人型ロボットでは、回転自由度の分だけ関節にギヤを配置する必要があり、関節が大きくなる。関節で骨格を接続し、関節ごとに2本のアクチュエータによるリンクの伸縮により2回転自由度で関節を駆動する2足歩行ロボットが提案されている(特許文献1)。2個のアクチュエータによるリンクの伸縮により2回転自由度で関節を駆動し、さらに1個の回転アクチュエータを付加した、3回転自由度でロボットの足首、手首、首を駆動するロボットが提案されている(特許文献2)。また、固定側部材に設けられた3自由度の軸受けに一端が接続され他端が可動側部材に接続する1本の固定長リンクと、固定側部材に3回転自由度の軸受けで一端が接続され他端が可動側部材に3自由度の軸受けで接続される3本の可変長リンクを有する平行リンク機構が提案されている(特許文献3)。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2004-202676号

【特許文献2】特表2011-527641号

【特許文献3】特開2003-172418号

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

アクチュエータを使用することで、関節部をコンパクトにできる。しかし、関節が2回転自由度だと、例えば手首で捻りを伴う動作がでない。捻りを伴う動作ができないと、人に近い動作ができない場合がある。

特許文献2の3回転自由度関節は、構造が複雑である。また、人間と相似な形状とすることを目的とするため、足首、手首を太くすることができず、支点である関節と作用点であるリンクの接続点の間隔が狭くなる。そのため、ロボットが出せる力が十分でない場合があると考えられる。

40

特許文献3の平行リンク機構は、3本の可変長リンクと1本の固定長リンクが互いに平行になる状態を取りうる。3本の可変長リンクと1本の固定長リンクが互いに平行になる状態では、可変長リンクの長さを変化させても、固定長リンクの回りに回転させることができない。特許文献3の平行リンク機構は、動きに制約がある。

【0005】

この発明は、人に近い動きができる上肢部を有するロボットを得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明に係るロボットは、胸部と、胸部の上部の左右に直列に接続した上腕部、前腕部、および手部を有する左右一対の上肢部と、左右の前腕部をそれぞれ上腕部に2回転自

50

由度で回転可能に接続する左右一対の肘部とを備えるものである。肘部は、前腕部と上腕部を2回転自由度で回転可能に接続する肘関節部、長さが決まった肘部駆動主リンク、長さが決まった肘部駆動補助リンク、肘部駆動主リンクの一端が少なくとも2回転自由度を有して回転可能に取付けられる前腕部に設けられた前腕側主リンク取付部、肘部駆動補助リンクの一端が少なくとも2回転自由度を有して回転可能に取付けられる肘部駆動主リンクに設けられた肘部駆動主リンク側補助リンク取付部、肘部駆動主リンクおよび肘部駆動補助リンクの他端がそれぞれ少なくとも2回転自由度を有して回転可能に取付けられ、上腕部に沿って移動可能に上腕部に設けられた2個の上腕側リンク取付部、2個の上腕側リンク取付部をそれぞれ移動させる移動部材、移動部材が上腕部に沿って移動するガイド部、ガイド部に対する移動部材の位置を変更する力を発生させる動力源とをそれぞれ有する2本のリニアアクチュエータを有する。

10

さらに、胸部と、胸部の上部の左右に直列に接続した上腕部、前腕部、および手部を有する左右一対の上肢部と、左右の上腕部をそれぞれ胸部に2回転自由度で回転可能に接続する左右一対の肩部とを備えるものである。肩部は、胸部の上部の左右それぞれの端部から胸部の中心から遠い側でかつ後方側に延びた回転軸の回りの回転と回転軸と上腕部とがなす角度を変更する回転とが可能である2回転自由度で回転可能に上腕部を胸部に接続する肩関節部、肩関節部よりも下側の位置で胸部に設けられた胸側主リンク取付部、上腕部に設けられた上腕部主リンク取付部、上腕部主リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ胸側主リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さが変更可能な上腕部駆動主リンク、および上腕部駆動主リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動主アクチュエータと、肩関節部よりも下側かつ上腕部主リンク取付部とで前後方向に肩関節部を挟む位置の胸部に設けられた胸側補助リンク取付部、上腕部駆動主リンクに設けられた上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部、上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ胸側補助リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さが変更可能な上腕部駆動補助リンク、および上腕部駆動補助リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動補助アクチュエータとを有する。

20

【発明の効果】

【0007】

30

この発明によれば、人に近い動きができる上肢部を有するロボットを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】この発明の実施の形態1に係る人型ロボットの斜視図である。

【図2】実施の形態1に係る人型ロボットの正面図である。

【図3】実施の形態1に係る人型ロボットの左側面図である。

【図4】実施の形態1に係る人型ロボットの背面図である。

【図5】実施の形態1に係る人型ロボットの上から見た平面図である。

【図6】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造を説明する斜視図である。

40

【図7】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造を説明する正面図である。

【図8】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造を説明する左側面図である。

【図9】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造を説明する背面図である。

【図10】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造を説明する上から見た平面図である。

【図11】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造での上半身を左の手部側の斜め前から見た斜視図である。

【図12】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造での上半身を右の手部側の斜め後から見上げる斜視図である。

【図13】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造での上半身を右の手部側の斜め後

50

から見下ろす斜視図である。

【図1 4】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造での体幹部を拡大した正面図である。

【図1 5】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造での体幹部を拡大した背面図である。

【図1 6】実施の形態1に係る人型ロボットが有する胸上部の正面図である。

【図1 7】実施の形態1に係る人型ロボットが有する胸上部の左側面図である。

【図1 8】実施の形態1に係る人型ロボットが有する胸上部の背面図である。

【図1 9】実施の形態1に係る人型ロボットが有する胸上部の上から見た平面図である。

【図2 0】実施の形態1に係る人型ロボットが有する胸下部の下から見た平面図である。

【図2 1】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造での腰部から下の部分を上から見た平面図である。

【図2 2】実施の形態1に係る人型ロボットが有する体幹部を左の手部側の斜め前から見た斜視図である。

【図2 3】実施の形態1に係る人型ロボットが有する体幹部を左の手部側の斜め後から見た斜視図である。

【図2 4】実施の形態1に係る人型ロボットの上部が無状態での体幹部の左側面図である。

【図2 5】実施の形態1に係る人型ロボットで使用されるアクチュエータが有する可変長リンクの構造を説明する断面図である。

【図2 6】実施の形態1に係る人型ロボットにおいて胸上部と胸下部の区分と胸部を動かす可変長リンクの配置を説明する側面から見た模式図である。

【図2 7】実施の形態1に係る人型ロボットにおいて胸上部と胸下部の区分と胸部を動かす可変長リンクの配置を説明する正面から見た模式図である。

【図2 8】実施の形態1に係る人型ロボットが有する胴体屈曲部での可変長リンクの配置を左の手部側の斜め後から見た斜視図である。

【図2 9】実施の形態1に係る人型ロボットが有する胴体屈曲部の基準状態での可変長リンクの配置を背骨部が延在する方向から見た図である。

【図3 0】実施の形態1に係る人型ロボットが有する3回転自由度接続機構で、捻り軸と可変長リンクの位置関係により可変長リンクの伸縮が捻り軸の回りに回転させるトルクが発生するかどうかを説明する図である。

【図3 1】実施の形態1に係る人型ロボットが有する胴体屈曲部の胸部を回転させて前方に傾けた状態での可変長リンクの配置を背骨部が延在する方向から見た図である。

【図3 2】実施の形態1に係る人型ロボットの頭部を拡大した側面図である。

【図3 3】実施の形態1に係る人型ロボットの頭部を拡大した斜視図である。

【図3 4】実施の形態1に係る人型ロボットが有する首部での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。

【図3 5】実施の形態1に係る人型ロボットが有する首部の基準状態での可変長リンクの配置を首部中心棒が延在する方向から見た図である。

【図3 6】実施の形態1に係る人型ロボットが有する首部の頭部を回転させて前方に傾けた状態での可変長リンクの配置を首部中心棒が延在する方向から見た図である。

【図3 7】実施の形態1に係る人型ロボットの上半身の斜視図である。

【図3 8】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の肩関節部での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。

【図3 9】実施の形態1に係る人型ロボットの左の上肢部の正面図である。

【図4 0】実施の形態1に係る人型ロボットの左の上肢部の側面図である。

【図4 1】実施の形態1に係る人型ロボットの左の上肢部の肘関節部までの部分を拡大した正面図である。

【図4 2】実施の形態1に係る人型ロボットの左の上肢部の肘関節部までの部分を拡大した側面図である。

10

20

30

40

50

【図43】実施の形態1に係る人型ロボットが有する体幹部および上肢部で左右の肘関節部を90度曲げた状態での正面図である。

【図44】実施の形態1に係る人型ロボットが有する体幹部および上肢部で左右の肘関節部を90度曲げた状態での上から見た平面図である。

【図45】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の肘関節部のリンク配置を説明する斜視図である。

【図46】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造での左の肘関節部から先の部分を拡大した斜視図である。

【図47】実施の形態1に係る人型ロボットの左の肘関節部から先の部分を拡大した正面図である。

10

【図48】実施の形態1に係る人型ロボットの左の肘関節部から先の部分を外側のアクチュエータを除いた状態で拡大した左側面図である。

【図49】実施の形態1に係る人型ロボットの左の肘関節部から先の部分を拡大した裏面図である。

【図50】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の手首部での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。

【図51】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の手首部の基準状態での可変長リンクの配置を前腕部が延在する方向から見た図である。

【図52】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の手首部を第4指部側に傾けた状態での可変長リンクの配置を前腕部が延在する方向から見た図である。

20

【図53】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造での腰部から下の部分の正面図である。

【図54】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造での腰部から下の部分の左側面図である。

【図55】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造での腰部から下の部分の背面図である。

【図56】実施の形態1に係る人型ロボットの骨格構造での膝関節部から下の部分の斜視図である。

【図57】実施の形態1に係る人型ロボットの大腿部を拡大した正面図である。

【図58】実施の形態1に係る人型ロボットの大腿部を拡大した左側面図である。

30

【図59】実施の形態1に係る人型ロボットの大腿部を拡大した背面図である。

【図60】実施の形態1に係る人型ロボットの大腿部を右斜め前から見た斜視図である。

【図61】実施の形態1に係る人型ロボットの大腿部を右斜め後から見た斜視図である。

【図62】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の股部での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。

【図63】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の股部の基準状態での可変長リンクの配置を大腿骨部が延在する方向から見た図である。

【図64】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の股部の大腿部を左前方に上げた状態での可変長リンクの配置を大腿骨部が延在する方向から見た図である。

【図65】実施の形態1に係る人型ロボットが有する股関節部を動かす可変長リンクを正面側で高く裏面側で低く取付けることによる効果を説明する図である。

40

【図66】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の膝関節部を動かす可変長リンクの配置を説明する斜視図である。

【図67】実施の形態1に係る人型ロボットの膝関節部から下の部分を拡大した正面図である。

【図68】実施の形態1に係る人型ロボットの膝関節部から下の部分を拡大した左側面図である。

【図69】実施の形態1に係る人型ロボットの膝関節部から下の部分を拡大した背面図である。

【図70】実施の形態1に係る人型ロボットの下腿部から下の部分の斜視図である。

50

【図7 1】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の足首関節部を動かす可変長リンクの配置を説明する斜視図である。

【図7 2】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の手部を手の平側から見た斜視図である。

【図7 3】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の手部を手の甲側から見た斜視図である。

【図7 4】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の手部の正面図である。

【図7 5】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の手部を対向可能指部が存在する側から見た側面図である。

【図7 6】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の手部の裏面図である。

10

【図7 7】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の手部を対向可能指部が存在しない側から見た側面図である。

【図7 8】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の手部を指先側から見た図である。

【図7 9】実施の形態1に係る人型ロボットが有する左の手部の第2 指部を断面で表示した図である。

【図8 0】実施の形態1に係る人型ロボットが有する胸部内関節部と胸腰部接続関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

【図8 1】実施の形態1に係る人型ロボットが有する肩関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

20

【図8 2】実施の形態1に係る人型ロボットが有する肘関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

【図8 3】実施の形態1に係る人型ロボットが有する手首関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

【図8 4】実施の形態1に係る人型ロボットが有する足首関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

【図8 5】実施の形態1に係る人型ロボットが有する股関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

【図8 6】この発明の実施の形態2に係る人型ロボットの斜視図である。

【図8 7】実施の形態2に係る人型ロボットの正面図である。

30

【図8 8】実施の形態2に係る人型ロボットの左側面図である。

【図8 9】実施の形態2に係る人型ロボットの背面図である。

【図9 0】この発明の実施の形態3に係る人型ロボットが有する左の足部の平面図である。

【図9 1】実施の形態3に係る人型ロボットが有する左の足部の左側面図である。

【図9 2】実施の形態3に係る人型ロボットが有する左の足部の正面図である。

【図9 3】実施の形態3に係る人型ロボットが有する左の足部の斜視図である。

【図9 4】この発明の実施の形態4に係る人型ロボットが有するアクチュエータが有する可変長リンクの構造を説明する断面図である。

【図9 5】この発明の実施の形態5に係る人型ロボットが有する左の手部を手の甲側から見た斜視図である。

40

【図9 6】実施の形態5に係る人型ロボットが有する左の手部を手の平側から見た斜視図である。

【図9 7】実施の形態5に係る人型ロボットが有する左の手部の正面図である。

【図9 8】実施の形態5に係る人型ロボットが有する左の手部を第1 指部が存在する側から見た側面図である。

【図9 9】実施の形態5に係る人型ロボットが有する左の手部の背面図である。

【図1 0 0】実施の形態5に係る人型ロボットが有する左の手部を指先側から見た側面図である。

【図1 0 1】実施の形態5に係る人型ロボットが有する左の手部を手首側から見た側面図

50

である。

【図102】実施の形態5に係る人型ロボットが有する左の手部の対向指部を曲げた状態で第1指部が存在する側から見た側面図である。

【図103】実施の形態5に係る人型ロボットが有する左の手部の掌板部の平面図である。

【図104】実施の形態5に係る人型ロボットが有する左の手部の対向指部の第2指節部付近を拡大した斜視図である。

【図105】この発明の実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態で手の甲側から見た斜視図である。

【図106】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態で手の甲側から見た斜視図である。

10

【図107】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態での正面図である。

【図108】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態での第1指部が存在する側から見た側面図である。

【図109】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態での背面図である。

【図110】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態での第4指部が存在する側から見た側面図である。

【図111】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態での指先側から見た側面図である。

20

【図112】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態での正面図である。

【図113】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態での第1指部が存在する側から見た側面図である。

【図114】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態での裏面図である。

【図115】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態での第4指部が存在する側から見た側面図である。

【図116】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態での指先側から見た側面図である。

30

【図117】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態で手の甲側から見た手幅回転指を拡大した斜視図である。

【図118】実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態で手の甲側から見た手幅回転指を拡大した斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

実施の形態1.

図1は、この発明の実施の形態1に係る人型ロボット100の斜視図である。人型ロボット100の正面図、左側面図、背面図および平面図を、それぞれ図2、図3、図4および図5に示す。人型ロボット100の骨格構造を説明する斜視図を図6に示す。人型ロボット100を骨格だけにした場合の正面図、左側面図、背面図および平面図を、それぞれ図7、図8、図9および図10に示す。人型ロボット100の左右方向の軸をX軸とし、前後方向の軸をY軸とし、高さ方向の軸をZ軸とする。右から左への向きをX軸の正の向きとし、前から後への向きをY軸の正の向きとし、下から上への向きをZ軸の正の向きとする。

40

【0010】

図1から図5に示す、人型ロボット100が直立し両腕を下ろした姿勢を基準状態と呼ぶ。基準状態は、人型ロボット100が使用される際によく取る姿勢である。

【0011】

50

人型ロボット100は、人の体に似た構造を有する。人型ロボット100は、体幹部1、体幹部1の上側中央に接続する頭部2、体幹部1の上部の左右から出る一対の上肢部3、体幹部1の下部から出る左右一対の下肢部4を有する。体幹部1は、上側の胸部5と下側の腰部6に分けられる。上肢部3は、上腕部7、前腕部8および手部9が直列に接続する。下肢部4は、腰部6から順に、大腿部10、下腿部11および足部12が直列に接続する。左右一対の上肢部3は、右の上肢部3と左の上肢部3とが鏡像の関係となる構造を有する。左右一対の下肢部4についても同様に鏡像の関係が成立する。左右の上肢部3は、鏡像の関係にならない部分があってもよい。左右の下肢部4も、鏡像の関係にならない部分があってもよい。

【0012】

10

人型ロボット100では、首、肩、肘、手首、股、膝、足首などを構成する骨格を回転可能に接続する各関節部は、筋肉に相当するアクチュエータが有する長さを変更可能なりンク(可変長リンク)が長さを変えることにより動かされる。各関節部を動かす可変長リンクの数は、その関節部に必要な回転自由度の次数と同数である。可変長リンクは、その可動範囲内で長さを変更でき、可動範囲内の任意の長さを維持することができる。アクチュエータは、可変長リンクの長さを変更する力を発生させる動力源であるモータも有する。符合XXのアクチュエータXXが有するリンクの符合をXXLとし、モータの符合をXXMと表記する。図には、可変長リンクの符合XXL、モータの符合XXMを表示する。アクチュエータの符合XXは、図には表示しない。

【0013】

20

これまでの人型ロボットの多くは、各関節部にモータとギヤを配置し、その軸上に関節交点を配置している。そのため、関節部に要するスペースが大きくなり、コンパクトな関節部を作りにくい。それに対して、人型ロボット100では、関節部の近くにギヤを配置する必要が無いので、関節部をコンパクトにできる。また、関節部で接続される骨格と並行してリンクが存在するので、関節部だけの場合よりも関節部が大きな力に耐えることができる。各関節部に必要な次数の回転自由度を持たせているので、人型ロボット100は、人の動きに近い動きをすることができる。人と同様な動作ができることは、例えば、人が入れない区域などで人の替わりに作業するロボットとしては必要な条件である。

【0014】

30

人型ロボット100の各関節部の自由度は、首、手首、股、胸部5と腰部6の間は、前後左右に動かせ、捻りの動作もできる3回転自由度としている。肩、肘、足首は前後左右に動かせる2回転自由度としている。膝は、前後に動かせる1回転自由度としている。なお、肩、足首、肘などを3回転自由度にしてもよい。

【0015】

胸部5は、胸上部5Uと胸下部5Dとに分かれている。胸上部5Uには、上腕部7および頭部1が接続する。胸下部5Dは、腰部6に接続する。胸上部5Uは、1回転自由度で上下方向に胸下部5Dに対する角度を変更できる。胸部5は、胸上部5Uを胸下部5Dに少なくとも1回転自由度を有して回転可能に接続する胸屈曲部C1(図26に図示)を有する。

【0016】

40

図10から図24を参照して、体幹部1の構造を説明する。図11は、骨格構造での上半身を左の手部側の斜め前から見た斜視図である。図12は、骨格構造での上半身を右の手部7側の斜め後から見上げる斜視図である。図13は、骨格構造での上半身を右の手部7側の斜め後から見下ろす斜視図である。図14は、骨格構造での体幹部1を拡大した正面図である。図15は、骨格構造での体幹部1を拡大した背面図である。図16から図18は、胸上部5Uの正面図、左側面図、背面図である。図19は、胸上部5Uを上から見た平面図である。図20は、胸上部5Uを下から見た平面図である。図21は、骨格構造での腰部6から下の部分を上から見た平面図である。図22は、体幹部1を左の手部7側の斜め前から見た斜視図である。図23は、体幹部1を左の手部7側の斜め後から見た斜視図である。図24は、上肢部3が無い状態での体幹部1の左側面図である。

50

【 0 0 1 7 】

主に図1 0 から図2 1 を参照して、体幹部1 を構成する骨格と、筋肉に相当するアクチュエータが有する可変長リンクが取付けられる箇所に関して説明する。胸部5 は、肩部フレーム5 1 、胸郭部フレーム5 2 、胸郭部前後連結フレーム5 3 、胸部中央連結フレーム5 4 、胸部内関節部フレーム5 5 、背骨部5 6 、リンク取付用フレーム5 7 を有する。胸上部5 U は、肩部フレーム5 1 、胸郭部フレーム5 2 、胸郭部前後連結フレーム5 3 、胸部中央連結フレーム5 4 および胸部内関節部フレーム5 5 を有して構成される。胸下部5 D は、背骨部5 6 およびリンク取付用フレーム5 7 を有して構成される。胸部内関節部1 6 は、胸上部5 U と胸下部5 D とを上下方向に回転可能な1 回転自由度で接続する。

【 0 0 1 8 】

10

肩部フレーム5 1 は、両肩に相当する位置を結ぶフレームである。胸郭部フレーム5 2 は、肩部フレーム5 1 の下側の左右に設けられた折れ曲がったフレームである。胸郭部フレーム5 2 には、上腕部7 を動かすための可変長リンクが取付けられる。胸郭部前後連結フレーム5 3 は、胸郭部フレーム5 2 を前後方向で連結するフレームである。胸部中央連結フレーム5 4 は、左右の胸郭部前後連結フレーム5 3 を連結するフレームである。胸部内関節部フレーム5 5 は、左右の胸郭部前後連結フレーム5 3 のそれぞれの下側に設けられた板状のフレームである。胸部内関節部フレーム5 5 は、背骨部5 6 とともに胸部内関節部1 6 を構成する。

【 0 0 1 9 】

背骨部5 6 は、正面から見るとT 字状の棒である。背骨部5 6 の上側の水平方向の円筒状の部分を、胸内回転軸部5 6 T と呼ぶ。2 枚の胸部内関節部フレーム5 5 が胸内回転軸部5 6 T を回転可能に挟んで保持することで、胸部内関節部1 6 が構成される。

20

【 0 0 2 0 】

背骨部5 6 の縦に延在する部分は円柱状である。背骨部5 6 は、胸部5 と腰部6 とを連結する連結棒である。背骨部5 6 の下端には、背骨部5 6 を腰部6 に3 回転自由度で接続する胸腰部関節部1 8 が設けられる。胸腰部関節部1 8 には、球面軸受が用いられる。リンク取付用フレーム5 7 は、胸内回転軸部5 6 T の上側に接続する。リンク取付用フレーム5 7 には、胸部5 を腰部6 に対して回転させる可変長リンクが取付けられる。なお、図1 6 から図2 0 では、胸部5 を腰部6 に対して回転させる可変長リンクの取付位置が分るように、胸上部5 U およびリンク取付用フレーム5 7 を図示する。

30

【 0 0 2 1 】

肩部フレーム5 1 は、図1 0 に示すように左右の端部がX 軸に対して角度 ξ 1 だけ後方に曲がっている。肩部フレーム5 1 の両端には、上腕部7 を2 回転自由度で胸部5 に接続する肩関節部1 3 が接続する。肩関節部1 3 は、直交する2 つの回転軸を有する2 軸ジンバルである。肩関節部1 3 の2 軸ジンバルは、肩部フレーム5 1 の方向に存在する回転軸の回りを回転する部材（回転部材と呼ぶ）を、上腕部7 の側に設けられたヨークが上腕部7 と回転部材とがなす角度を変更可能（回転可能）に挟む形状である。ヨークとは、他の部材を回転可能に保持する穴または突起が設けられた互いに対向する部材である。ヨークに設けられた穴に保持され、他の部材を回転可能にする部材を軸部材と呼ぶ。2 軸ジンバルでは、回転部材の回転軸と軸部材は直交する。肩関節部1 3 では、回転部材の回転軸と直交する直線上に存在する2 個の突起を、ヨークに設けた穴に入れる。そうすることで、ヨークは回転部材を回転可能に保持する。肩関節部1 3 はこのような構造なので、上腕部7 は、肩部フレーム5 1 の方向の回転軸の回りを回転できる。また、上腕部7 と肩部フレーム5 1 とがなす角度も変更できる。

40

【 0 0 2 2 】

胸郭部フレーム5 2 は、肩部フレーム5 1 において左右の端部が後方に曲がる箇所よりも少し中央側で肩部フレーム5 1 の下側に接続する。胸郭部フレーム5 2 は、前後方向から見るとL 字状であり、側面から見ると下側の辺を有しない長方形の上側の両角を切ったように見える形状である。肩部フレーム5 1 から前後方向および下方に延びる胸郭部フレーム5 2 は、L 字状に折れ曲がって中央側に水平に延びる。胸郭部フレーム5 2 の前側お

50

よび背面側で水平に延びる部分は、中央側で胸郭部前後連結フレーム5 3により連結される。左右の胸郭部前後連結フレーム5 3は、胸部中央連結フレーム5 4により連結される。

【 0 0 2 3 】

胸郭部フレーム5 2の前側のL字状の角の部分に、胸側主リンク取付部J 1が設けられる。胸側主リンク取付部J 1に、上腕部7を動かすための上腕部駆動主アクチュエータ1 4が有する可変長リンクである上腕部駆動主リンク1 4 L(図3 7に図示)が2回転自由度で回転可能に取付けられる。背中側のL字状の角の部分に、胸側補助リンク取付部J 2が設けられる。胸側補助リンク取付部J 2は、上腕部駆動補助リンク1 5 Lが2回転自由度で回転可能に取付けられる2軸ジンバルである。肩部フレーム5 1の下側で胸郭部フレーム5 2の間には、上腕部駆動主アクチュエータ1 4および上腕部駆動補助アクチュエータ1 5が自由に動ける空間が存在する。

10

【 0 0 2 4 】

胸側主リンク取付部J 1は、胸郭部フレーム5 2に垂直な回転軸(Y軸)の回りに回転する回転部材に取付けられたヨークが、上腕部駆動主リンク1 4 Lの角筒状の部分の対向する側面から垂直に設けられた円柱状の突起(軸部材)を回転可能に挟んで保持する構造である。胸側補助リンク取付部J 2も、同様な構造である。つまり、胸側主リンク取付部J 1および胸側補助リンク取付部J 2は、胸郭部フレーム5 2側に回転部材とヨークを有する2軸ジンバルである。

【 0 0 2 5 】

20

胸郭部前後連結フレーム5 3の中央部下側には、YZ平面に平行な板状の胸部内関節部フレーム5 5が接続する。胸部内関節部フレーム5 5には、背骨部5 6の上部に設けられた水平な円筒状の部分である胸内回転軸部5 6 Tを回転可能に保持する機構が設けられる。2枚の胸部内関節部フレーム5 5が胸内回転軸部5 6 Tを回転可能に挟んで保持することで、胸部内関節部1 6が構成される。胸部内関節部1 6は、胸上部5 Uと胸下部5 Dとを前後方向に回転可能な1回転自由度で接続する。胸上部5 Uと胸下部5 Dとの間の接続角度は、胸上部5 Uに一端が接続され、胸下部5 Dに他端が接続される胸部内リンク1 7 L(図2 2に図示)の長さにより決まる。胸部内アクチュエータ1 7は、胸部5の前側中央に設けられる。

【 0 0 2 6 】

30

胸部内リンク1 7 Lの一端は、下側胸部内リンク取付部J 3により背骨部5 6に回転可能に取付けられる。背骨部5 6から前方に下側胸部内リンク取付部J 3のヨークが出て、胸部内リンク1 7 Lを回転可能に挟む。胸部内リンク1 7 Lの另一端は、上側胸部内リンク取付部J 4により胸部中央連結フレーム5 4に回転可能に取付けられる。上側胸部内リンク取付部J 4のヨークは、胸部中央連結フレーム5 4に設けられる。胸屈曲部C 1は、胸部内関節部1 6、胸部内アクチュエータ1 7、上側胸部内リンク取付部J 4、下側胸部内リンク取付部J 3を有して構成される。

【 0 0 2 7 】

胸部5と腰部6の間には、図2 2、図2 3および図2 4に示すように、3本の胸腰部中央アクチュエータ1 9、胸腰部右アクチュエータ2 0、胸腰部左アクチュエータ2 1が存在する。胸腰部中央リンク1 9 Lは、胸部5の下部の背中側中央の点から腰部6の胸腰部関節部1 8の背中側中央の点を結ぶ。胸腰部右リンク2 0 Lは、胸部5の下部の前側右の点から腰部6の背中側右の点を結ぶ。胸腰部左リンク2 1 Lは、胸部5の下部の前側左の点から腰部6の背中側左の点を結ぶ。上から見ると、胸腰部右リンク2 0 Lと胸腰部左リンク2 1 Lは、背骨部5 6を挟むように存在する。胸腰部右リンク2 0 Lと胸腰部左リンク2 1 Lは、胸部5では正面側の位置から腰部6では背面側の位置に向かう。

40

【 0 0 2 8 】

リンク取付用フレーム5 7には、背中側の中央に胸部中央リンク取付部J 5、前側右に胸部右リンク取付部J 6、前側左に胸部左リンク取付部J 7が設けられる。胸部中央リンク取付部J 5、胸部右リンク取付部J 6、胸部左リンク取付部J 7は、基準状態で胸部内

50

関節部16と同じ高さになるように設けられる。胸部中央リンク取付部J5、胸部右リンク取付部J6、胸部左リンク取付部J7には、それぞれ胸腰部中央リンク19L、胸腰部右リンク20L、胸腰部左リンク21Lの一端が2回転自由度で取付けられる。

【0029】

胸部中央リンク取付部J5は、リンク取付用フレーム57から背面側に出るY軸に平行な回転軸の回りに回転するヨークが胸腰部中央リンク19Lを回転可能に挟む構造である。胸部右リンク取付部J6は、リンク取付用フレーム57から右斜め前に出る回転軸の回りに回転するヨークが胸腰部右リンク20Lを回転可能に挟む構造である。胸部左リンク取付部J7は、リンク取付用フレーム57から左斜め前に出る回転軸の回りに回転するヨークが胸腰部左リンク21Lを回転可能に挟む構造である。

10

【0030】

胸腰部中央アクチュエータ19が有する可変長リンクである胸腰部中央リンク19Lを例にして、可変長リンクの構造を説明する。図25は、アクチュエータが有する可変長リンクの構造を説明する断面図である。図25には、断面表示しないモータ19Mも示す。モータ19Mと円筒19Cとは、互いの位置関係が固定されている。胸腰部中央リンク19Lは、ねじ棒19A、ナット19B、円筒19C、ナット位置固定部19D、ナット回転保持部19E、ナットギヤ19Fを有する。ねじ棒19Aは、側面に雄ねじが設けられた断面が円形の棒である。ナット19Bは、ねじ棒19Aとかみ合う雌ねじが内面に設けられた貫通穴を有する雌ねじ部材である。円筒19Cは、ねじ棒19Aの一部およびナット19Bを内部に収容する。ナット位置固定部19Dは、円筒19Cに対するナット19Bの軸方向の位置を固定する。ナット回転保持部19Eは、ナット19Bを円筒19Cに対して回転可能に保持する。ナットギヤ19Fは、ナット19Bと共に回転するギヤである。

20

【0031】

ナット位置固定部19Dは、ナット19Bを移動させないように円筒19Cの内部に周方向に設けられた突起である。ナット位置固定部19Dである突起は、ナット19Bが有する周方向に設けられた突起を挟むように設けられる。ナット位置固定部19Dは、ナット回転保持部19Eの両側とナットギヤ19Fとナット19Bとの接続部分の3箇所に設けている。ナット位置固定部19Dは、円筒19Cに対するナット19Bの軸方向の相対位置を固定するものであれば、どのようなものでもよい。ねじ棒19Aの軸方向は、円筒19Cの長さ方向でもある。

30

【0032】

ナットギヤ19Fは、円筒19Cの外側に配置される。ナットギヤ19Fは、モータ19Mの回転軸に設けられた駆動ギヤ19Gとかみ合う。駆動ギヤ19Gが回転すると、ナットギヤ19Fおよびナット19Bが回転する。ナット19Bが回転すると、ナット19Bはねじ棒19Aに対して移動することになる。ナット19Bの位置は円筒19Cの長さ方向に対して固定されているので、ナット19Bが回転すると、ねじ棒19Aがナット19Bおよび円筒19Cに対して移動する。

【0033】

ねじ棒19Aの一端が、胸部中央リンク取付部J5により、リンク取付用フレーム57に回転可能に取付けられる。円筒19Cの一端が、腰部中央リンク取付部J10により、腰部主フレーム61に回転可能に取付けられる。ねじ棒19Aが円筒19Cから出る方向に移動すると、胸部中央リンク取付部J5と腰部中央リンク取付部J10の距離が長くなる。ねじ棒19Aが円筒19Cに入る方向に移動すると、胸部中央リンク取付部J5と腰部中央リンク取付部J10の距離が短くなる。このように、胸腰部中央リンク19Lはその長さが変更可能であり、その両端が取付けられる2点間の距離を変更することができる。

40

【0034】

胸腰部中央リンク19Lが有するねじ棒19Aの側の端は、胸部5ではなく、腰部6に取付けられてもよい。その場合には、円筒19Cは、胸部5に取付けられる。雄ねじが設

50

けられたねじ棒19Aは、その一端が胸腰部中央リンク19Lの両側のリンク取付部のどちらかに取付けられる。円筒19Cの一端は、胸腰部中央リンク19Lの両端のリンク取付部の中で、ねじ棒19Aが取付けられていないリンク取付部に取付けられる。

【0035】

ナット19Bは、ねじ棒19Aに設けられた雄ねじとかみ合う雌ねじが内面に設けられた貫通穴を有する。ナット19Bは、モータ19Mからの力が伝えられて回転する回転部材である。円筒19Cは、ねじ棒19Aおよびナット19Bを収容する筒である。ナット位置固定部19Dは、ねじ棒19Aの軸方向での円筒19Cに対するナット19Bの相対位置を固定する回転部材位置固定部である。ナット回転保持部19Eは、ナット19Bと円筒19Cの間に設けられて、ナット19Bを円筒19Cに対して回転可能に保持する回転部材保持部である。回転部材保持部を有するので、可変長リンクである胸腰部中央リンク19Lは軸回りの回転を可能とする1回転自由度を有する。軸回りの回転とは、リンクの両端で軸回りの回転角度が異なることである。可変長リンクが1回転自由度を有するので、その両端を取付けるリンク取付部は2回転自由度を有するものでよい。可変長リンクが1回転自由度を有しない場合は、どちらかの端を取付けるリンク取付部は3回転自由度を有するようにする。ここで、可変長リンクがその両端が2回転自由度で取付部に取付けられ軸回りに1回転自由度を有する場合、または、可変長リンクがその一端が3回転自由度で取付部に取付けられ他端が2回転自由度で取付部に取付けられる場合を、可変長リンクが5回転自由度を有すると定義する。

【0036】

胸腰部右リンク20L、胸腰部左リンク21Lおよび他のアクチュエータが有する可変長リンクも同様な構造である。

【0037】

ねじ棒とナットとの間のねじは、ボールネジや台ねじなどの回転時の摩擦係数が小さいものを使用する。ねじのピッチが同じであれば、摩擦係数が小さければ、可変長リンクの長さを変更するために必要な力が小さくなる。そのため、モータは、摩擦係数が大きい場合よりも最大出力が小さいものでよくなる。アクチュエータが動作する場合の消費電力も小さくなる。静止時の摩擦力の大きさは、モータが駆動力を発生させなくてもナットが回転しない程度の大きさとする。そうすることで、電力供給が遮断された場合にも、人型ロボットの各関節部において電力が途絶える前の角度を維持できる。人型ロボットが静止していた場合は、その姿勢を維持できる。人型ロボットが物体を保持していた場合は、物体を保持したままの状態を維持できる。

【0038】

摩擦力の大きさは、電力供給が遮断された状況で、1人または複数人の力で、各関節部の角度を変更できるような大きさとする。電力供給が遮断された災害時などに、人型ロボットが負傷した人の救助などに邪魔になる可能性がある。人型ロボットの姿勢を変更できれば、例えば救助の邪魔にならないような姿勢に変更したり、移動させたりできる。可変長リンクの長さを変更させようとする力によりナットが回転するかどうかは、ねじの摩擦係数だけでなくピッチも関係する。摩擦係数が同じでもピッチを小さくすれば、ナットが回転する力の最小値を大きくできる。ねじのピッチと摩擦係数の大きさは、ナットが回転する可変長リンクの長さを変更させようとする力の最小値が、適切な大きさになるように決める。

【0039】

ねじ棒およびナットを収容する筒は、角筒でもよく、平面と曲面が組み合わさった側面を持つものでもよい。長さ方向で筒の径が変化してもよい。ねじ棒の一端が少なくとも2回転自由度を持たせてリンク取付部に取付けられ、筒またはモータ側の端が少なくとも2回転自由度を持たせてリンク取付部に取付けられるのであれば、可変長リンクはどのような構造でもよい。リンク取付具を介して筒またはモータ側の端をリンク取付部に取付けてもよい。リンク取付具を使用する場合は、ねじ棒、筒およびリンク取付具が可変長リンクになる。筒の端部でない部分をリンク取付部に取付けてもよい。その場合には、リンク

取付部に取付けられる筒の箇所までが可変長リンクであり、可変長リンクの一端がリンク取付部に取付けられることになる。

【 0 0 4 0 】

腰部6は、胸腰部関節部18が設けられる腰部主フレーム61、下肢部7が接続される下肢部接続フレーム62、腰部主フレーム61の背面側の下部を覆う腰部カバー63を有する。下肢部接続フレーム62は、左右にそれぞれ1個が設けられる。腰部カバー63と腰部主フレーム61の間の空間には、電源装置を配置したり、配線などを通したりする。

【 0 0 4 1 】

腰部主フレーム61は、上から見ると長方形の前側に円が一部重なって接続し、背面側の左右対称な位置に後方に出た2つの厚板状の部分を持つ。前側の上から見て円の部分は、胸腰部関節部18が存在する円筒である。胸腰部関節部18は、背骨部56の一端に設けられた球面を3回転自由度で保持する球面軸受けで構成される。図12に示すように、後方に出た2つの厚板状の部分の上側に、胸腰部右リンク20L、胸腰部左リンク21Lの他端が2回転自由度でそれぞれ取付けられる腰部右リンク取付部J8、腰部左リンク取付部J9が設けられる。腰部主フレーム61の上部の背面側の中央に、胸腰部中央リンク19Lが2回転自由度で取付けられる腰部中央リンク取付部J10が設けられる。

10

【 0 0 4 2 】

腰部右リンク取付部J8、腰部左リンク取付部J9、腰部中央リンク取付部J10は2軸ジンバルである。腰部右リンク取付部J8、腰部左リンク取付部J9は、可変長リンクに設けられた軸部材が入る貫通穴を有するヨークが回転可能に上向きに設けられる。腰部中央リンク取付部J10は、貫通穴を有するヨークが回転可能に背面側に向けて設けられる。

20

【 0 0 4 3 】

図26は、胸上部5Uと胸下部5Dの区分と胸部5を動かす可変長リンクの配置を説明する側面から見た模式図である。図26では、リンク配置を理解しやすくするため、胸部内リンク17Lを実際よりも前側に図示している。図27は、正面から見た模式図である。胸下部5Dは、ハッチングを付けて示す。胸下部5Dは、3本の可変長リンクにより胸腰部関節部18の回りをX軸、Y軸、Z軸の回りに回転できる。胸上部5Uは、胸下部5Dに対して1本の可変長リンクによりX軸の回りに回転できる。

【 0 0 4 4 】

30

胴体屈曲部C2は、胸部5を腰部6に3回転自由度で接続する3回転自由度接続機構である。胴体屈曲部C2は、胸腰部関節部18、胸腰部中央アクチュエータ19、胸腰部右アクチュエータ20、胸腰部左アクチュエータ21、胸部中央リンク取付部J5、胸部右リンク取付部J6、胸部左リンク取付部J7、腰部中央リンク取付部J10、腰部右リンク取付部J8、腰部左リンク取付部J9を有する。3回転自由度とは、胸部5を腰部6に対して前後方向(X軸回りの回転)に傾けることで1自由度、左右方向(Y軸回りの回転)に傾けることで1自由度、背骨部56(Z軸)の回りに胸部5を腰部6に対して旋回させることで1自由度、合計で3自由度を有して回転できることである。この発明に係る3回転自由度接続機構は、3回転自由度の関節部と3本のアクチュエータという簡素な構造である。

40

【 0 0 4 5 】

胴体屈曲部C2を3回転自由度接続機構として一般的に考えると、胴体屈曲部C2は、接続する側の第2部材である胸部6を、接続される側の第1部材である腰部5に対して3回転自由度で回転可能に接続する。胸腰部関節部18は、胸部5を腰部6に3回転自由度で接続する関節部である。背骨部56は、胸部5に対して方向が固定された捻り軸である。胸部5は、背骨部56の回りを腰部6に対して回転可能である。3回転自由度接続機構では、腰部6に近い側を第1部材とする。腰部6から遠い側を第2部材とする。

【 0 0 4 6 】

胸腰部中央アクチュエータ19、胸腰部右アクチュエータ20および胸腰部左アクチュエータ21は、長さが変更可能な可変長リンク、可変長リンクの長さを変更する力を発生

50

させるモータをそれぞれ有する3本のアクチュエータである。腰部中央リンク取付部J 10、腰部右リンク取付部J 8および腰部左リンク取付部J 9は、腰部6（第1部材）に設けられた3個の第1部材側リンク取付部である。3個の第1部材側リンク取付部のそれぞれには、3本のアクチュエータのそれぞれの一端が少なくとも2回転自由度を有して回転可能に取付けられる。腰部中央リンク取付部J 10、腰部右リンク取付部J 8および腰部左リンク取付部J 9は、胸腰部関節部18に対する相対的な位置関係が固定されている。胸部中央リンク取付部J 5、胸部右リンク取付部J 6および胸部左リンク取付部J 7は、胸部5（第2部材）に設けられた3個の第2部材側リンク取付部である。3個の第2部材側リンク取付部のそれぞれには、3本のアクチュエータのそれぞれの他端が少なくとも2回転自由度を有して回転可能に取付けられる。胸部中央リンク取付部J 5、胸部右リンク取付部J 6および胸部左リンク取付部J 7は、胸腰部関節部18に対する相対的な位置関係が固定されている。

10

【0047】

人型ロボット100が直立した基準状態では、胴体屈曲部C2は、回転可能な3つの軸の中で捻り軸（背骨部、Z軸）および他の2つの回転軸（X軸とY軸）の何れも両方向に回転可能である。3本のリンクと捻り軸とがなす3個の角度の最大値が決められた角度 δ 0（例えば、3度程度）以上であるように、胸部中央リンク取付部J 5、胸部右リンク取付部J 6、胸部左リンク取付部J 7、腰部中央リンク取付部J 10、腰部右リンク取付部J 8、腰部左リンク取付部J 9は、配置されている。

20

【0048】

人型ロボット100が有するすべての3回転自由度接続機構では、基準状態で捻り軸および他の2つの回転軸の少なくとも一つで両方向に回転可能に決められている。つまり、それぞれの3回転自由度接続機構の基準状態では、捻り軸を含む少なくとも2つの回転軸で両方向に回転可能である。

【0049】

胴体屈曲部C2は、例えば、胸腰部関節部18から上の上半身を前方向に20度程度、後方向に20度程度、左右方向に20度程度傾けることができる。また、背骨部56の回りに両方向に20度程度、胸部5を腰部6に対して回転させる（捻る）ことができる。さらに、胸部内関節部16により胸上部5Uを胸下部5Dに対して前方向に例えば15度程度、後ろ方向に20度程度、前後に傾けることができる。そのため、例えば、胸下部5Dを前後方向に傾けても胸上部5Uを鉛直に保つことができる。また、両手を作業しやすい位置になるような姿勢をとることができる。なお、可動範囲は一例であって、より広くあるいはより狭く可動範囲を決めることも可能である。

30

【0050】

人型ロボット100が直立した基準状態での胴体屈曲部C2での可変長リンクの配置を左の手部側斜め後から見た斜視図を図28に示す。胸腰部関節部18に対して位置が固定された胸下部5D側の3個の第2部材側リンク取付部J 5、J 6、J 7と腰部6側で胸腰部関節部18に対して位置が固定された3個の第1部材側リンク取付部J 10、J 8、J 9とをそれぞれ結ぶ3本の可変長リンク19L、20L、21Lを、胴体屈曲部C2は有する。そのため、3本の可変長リンク19L、20L、21Lの長さを変更することで、胸下部5Dの腰部6に対する接続角度を3回転自由度で変更できる。胸腰部関節部18のX軸回りの回転角度を α_s 、Y軸回りの回転角度を β_s 、Z軸回りの回転角度を γ_s とする。胸上部5Uは胸下部5Dに対して、胸部内関節部16によりX軸回りに回転できる。胸部内関節部16でのX軸回りの回転角度を ϕ とする。

40

【0051】

胸腰部関節部18などの関節部が回転することで変化する捻り軸が向く方向の取りうる範囲を、関節の可動範囲と呼ぶ。胸腰部関節部18の前後方向、左右方向、背骨部56の回りに回転可能な角度範囲として前に示した例は、その回転軸での取りうる最大角度範囲を示すものである。ある回転軸で取りうる角度範囲は、他の回転軸が取っている角度の影響を受ける。そのため、各回転軸の角度範囲を任意に組み合わせて得られる領域がすべて

50

可動範囲になる訳ではない。他の関節部に関しても同様である。

【 0 0 5 2 】

図29は、胴体屈曲部C2での可変長リンクの配置を背骨部が延在する方向から見た図である。図29では、捻り軸である背骨部56を、二重丸で表す。第2部材側リンク取付部である胸部中央リンク取付部J5、胸部右リンク取付部J6および胸部左リンク取付部J7を、白丸で表す。第1部材側リンク取付部である腰部中央リンク取付部J10、腰部右リンク取付部J8および腰部左リンク取付部J9は、黒丸で表す。可変長リンクである胸腰部中央リンク19L、胸腰部右リンク20Lおよび胸腰部左リンク21Lを、太線で示す。他の同種の図でも同様に表す。3個の第2部材側リンク取付部を結んでできる三角形を第2部材側三角形T1と呼ぶ。

10

【 0 0 5 3 】

図28および図29から以下のことが分る。可変長リンク20L、21Lが長く、捻り軸56に対してねじれの位置にあり、水平面に対して大きく傾斜している。捻り軸56の方向から見た場合は、可変長リンク20L、21Lがほぼ並行しており、捻り軸56を挟むように存在する。可変長リンク20Lを短くする捻り軸56の回りの回転方向と、可変長リンク21Lを短くする捻り軸56の回りの回転方向とは、互いに逆向きになっている。そのため、第2部材6を回転させると、可変長リンク20L、21Lの一方の長さが長くなり、もう一方の長さが短くなる。そのため、捻り軸56の回りに回転する際に、伸びるリンクにより押される力と、短くなるリンクにより引かれる力の両方が発生して、捻り軸56の回りに回転しやすくなる。胴体屈曲部C2では、可動範囲内の各状態で、捻り軸の回りに回転する際に、長さが長くなる可変長リンクと短くなる可変長リンクとが存在する。

20

【 0 0 5 4 】

二重丸で表される捻り軸56は、第2部材側三角形T1の内部であり、かつ第2部材側三角形T1の底辺の2等分線上に存在する。第2部材側三角形の底辺の2等分線を対称軸線と呼び、底辺を対称軸垂直線と呼ぶ。可変長リンク20L、21Lを同じように伸ばし、可変長リンク19Lを縮めると、対称軸線の方で第2部材6の傾きを変えることができる。可変長リンク20L、21Lを同じように縮め、可変長リンク19Lを伸ばせば、対称軸線の方で第2部材6の傾きを反対向きに変えることができる。また、可変長リンク19Lの長さを変えないで、可変長リンク20Lを長くし可変長リンク21Lを短くする、あるいは、可変長リンク20Lを短くし可変長リンク21Lを長くすると、対称軸垂直線の方で第2部材6の傾きを変えることができる。

30

【 0 0 5 5 】

可変長リンクの伸縮により捻り軸の回りに第2部材が回転できるリンク配置についての条件について考察する。図30に、捻り軸と可変長リンクの位置関係により可変長リンクの伸縮が捻り軸の回りに回転させるトルクが発生するかどうかを説明する図を示す。図30では、可変長リンクL3の下端(白丸で示す)は捻り軸との位置関係が固定であるとする。図30(a)には、捻り軸G1と可変長リンクL1とが平行である場合を示す。図30(b)には、捻り軸G2と可変長リンクL2とが同一平面上にあり平行でない場合を示す。図30(c)には、捻り軸G3と可変長リンクL3とがねじれの関係にある場合を示す。各場合では、捻り軸の方向から見た図を上側に、捻り軸に垂直な方向から見た図を下側に示す。図30(c)では、捻り軸に垂直かつ可変長リンクL3の下端P3が捻り軸G3上に来る方向(矢印Aで示す)から見た図も示す。

40

【 0 0 5 6 】

捻り軸G1と可変長リンクL1とが平行である場合は、図30(a)に示すように、捻り軸G1の方向から見ると、捻り軸G1と可変長リンクL1はそれぞれ点になる。したがって、可変長リンクL1の伸縮により、捻り軸G1に垂直な向きの力の成分、および捻り軸G1の回りに回転させるトルクが発生しない。捻り軸G2と可変長リンクL2とが同一平面上にあり平行でない場合は、図30(b)に示すように、可変長リンクL2が捻り軸G2の方向を向く。そのため、可変長リンクL2の伸縮により、捻り軸G2に垂直な向きの力

50

の成分が発生するが、捻り軸G 2 の方向を向いているので、捻り軸G 1 の回りに回転させるトルクはゼロである。捻り軸G 3 と可変長リンクL 3 とがねじれの関係にある場合は、図3 0 (c)に示すように、可変長リンクL 3 の伸縮により、捻り軸G 3 の回りに三角形U 3 の面積に比例する回転トルクが発生する。

【 0 0 5 7 】

可変長リンクL 3 の一端P 3 と捻り軸G 3 との距離Kは決まっているので、回転トルクの大きさは、捻り軸G 3 および一端P 3 とで決まる平面（リンク基準面と呼ぶ）と可変長リンクL 3 の他端Q 3 との距離Dにより決まることになる。距離Dと可変長リンクL 3 の長さ（Wで表す）の比（ D/W ）は、可変長リンクL 3 の長さが単位量だけ変化した場合に、距離Dが変化する量を表す。リンク基準面と可変長リンクL 3 とがなす角度（傾斜角度と呼ぶ）を θ とすると、以下が成立する。

$$\sin\theta = D/W$$

【 0 0 5 8 】

図3 0 (a)、(b)では、傾斜角度 $\theta = 0$ となる。可変長リンクの伸縮により捻り軸の回りの必要な回転トルクを発生させるには、傾斜角度 θ が決められた角度 $\delta 0$ （例えば、3 度程度）以上である必要がある。ここでは、可変長リンクが1 本の場合で考えたが、可変長リンクが2 本以上ある場合は、可変長リンクの傾斜角度の中の最大値が $\delta 0$ 以上であればよい。なお、リンク基準面は、可変長リンクごとに決まる平面である。具体的には、捻り軸を含む平面であり、かつ、捻り軸の方向が固定されている第1 部材に設けられたその可変長リンクの第1 部材側リンク取付部、または捻り軸の方向が固定されている第2 部材に設けられたその可変長リンクの第2 部材側リンク取付部を含む平面である。

【 0 0 5 9 】

傾斜角度 θ の場合の可変長リンクL 3 による回転トルクTAは、以下のようになる。

$$TA \propto K \cdot W \cdot \sin\theta = K \cdot D = 2 \cdot \text{三角形} U 3 \text{ の面積}$$

第2 部材を捻り軸の回りに回転させる際に必要となる回転トルクは、第2 部材の慣性モーメントも関係する。傾斜角度 θ に対する閾値 $\delta 0$ は、すべての3 回転自由度接続機構で同じ値としてもよいし、3 回転自由度接続機構ごとに決めてもよい。また、傾斜角度 θ を求める際に、可変長リンクの長さの変化量を単位量ではなく、可変長リンクの長さの変化可能範囲の幅を考慮した変化量としてもよい。

【 0 0 6 0 】

基準状態においては、可変長リンク1 9 Lは捻り軸5 6 と同一平面上にあり、可変長リンク1 9 Lとリンク基準面がなす傾斜角度 $\theta s1$ は0 度である。可変長リンク2 0 Lおよび可変長リンク2 1 Lは、捻り軸5 6 とねじれの関係にある。可変長リンク2 0 Lおよび可変長リンク2 1 Lの傾斜角度 $\theta s2$ と $\theta s3$ は、約4 1 度である。3 本の可変長リンク1 9 L、2 0 L、2 1 Lが、リンク基準面となす傾斜角度の最大値 θs_{max} は、 $\delta 0$ 以上である。したがって、可変長リンク2 0 L、2 1 Lの何れかが伸縮すると、捻り軸5 6 の回りの回転トルクを発生できる。

【 0 0 6 1 】

傾斜角度 $\theta s2$ と $\theta s3$ が約4 1 度なので、胸部6 を大きく傾けても、少なくとも $\theta s2$ と $\theta s3$ のどちらかは $\delta 0$ 以上である。すなわち、胸腰関節部1 6 の可動範囲内の各状態で、3 本の変長リンク1 9 L、2 0 L、2 1 Lの何れか少なくとも1 本が捻り軸5 6 とねじれの関係にある。さらに、捻り軸5 6 の方向が固定されている第2 部材5 に設けられた第2 部材側リンク取付部J 6、J 7 と捻り軸5 6 を含むリンク基準面と可変長リンク2 0 Lとなす傾斜角度は、 $\delta 0$ 以上である。

【 0 0 6 2 】

図3 1 は、胸部5 を回転させて前方に傾けた状態での胴体屈曲部C 2 での可変長リンクの配置を背骨部が延在する方向から見た図である。図3 1 では、胸部5（第2 部材）を左に1 5 度捻って、左に1 5 度の方向に前に3 0 度だけ傾けている。捻り軸5 6 が第2 部材に対して方向が固定なので、捻り軸5 6 を傾けると、捻り軸5 6 の方向から見た腰部6（第1 部材）を傾ける方向に、傾ける角度に応じて腰部6（第1 部材）が伸縮して見える。

図31では、 $\cos(30^\circ) = \text{約}0.87$ 倍になる。捻り軸56の回りに回転させているので、可変長リンク20Lが長くなり、可変長リンク21Lが短くなる。捻り軸56の回りに回転させる以外の場合は、以下のようなになる。捻り軸56を前に傾ける場合は、可変長リンク20L、21Lの傾斜角度 θ_{s2} 、 θ_{s3} がどちらも小さくなる。右に傾ける場合は、可変長リンク20Lの傾斜角度 θ_{s2} が大きくなり、可変長リンク21Lの傾斜角度 θ_{s3} が小さくなる。胴体屈曲部C2では、可動範囲の中でどのように傾けても、傾斜角度の最大値 θ_{smax} は30度程度以上である。なお、関節部の可動範囲が、可動範囲内の境界付近などで捻り軸の回りの回転が不要のように決められている場合は、可動範囲内の境界付近などでは傾斜角度の最大値 θ_{smax} は決められた角度 $\delta 0$ 以上でなくてもよい。

【0063】

10

腰部6の構造の説明に戻る。下肢部接続フレーム62は、略長方形の板材である。下肢部接続フレーム62は、腰部主フレーム61の下部の左右に前方が高くなるように固定される。下肢部接続フレーム62の内側(体の中心に近い側)で垂直に突起64が出ている。突起64の先端部には外側の斜め上に向けて大腿部10を腰部6に接続する股関節部22が設けられる。股関節部22は、腰部6側の球面を大腿部10側の窪みが囲む球面軸受を有する。股関節部22は、腰部6の一部である突起64から外側斜め上に出た球面を有する球面部材と、球面部材の球面を3回転自由度で回転可能に保持する大腿部10の端部に設けられた球面受部材とを有する。こうすることで、大腿部10の可動範囲を大きくすることができる。

【0064】

20

下肢部接続フレーム62の前側で突起65が出て、突起65の先端部の前側には股部正面リンク取付部J11が設けられる。股部正面リンク取付部J11には、股関節部22を回転させるための大腿部正面リンク23L(図57に図示)が取付けられる。突起65は折れ曲がっており、股部正面リンク取付部J11が設けられる部分の面は基準状態ではほぼ鉛直である。股部正面リンク取付部J11では、突起65に回転部材と回転部材により回転する円筒が設けられ、大腿部正面リンク23Lの一端にヨークおよび軸部材が設けられる。股部正面リンク取付部J11は、突起65に設けられた円筒の中を大腿部正面リンク23Lの一端に回転可能に設けられた軸部材が通る構造の2軸ジンバルである。

【0065】

30

下肢部接続フレーム62の外側の背面側の角付近で突起66が出て、突起66の先端部の外側には股部外側リンク取付部J12が設けられる。股部外側リンク取付部J12には、大腿部外側リンク24Lが取付けられる。下肢部接続フレーム62の内側の背面側の角付近で垂直に突起67が出て、突起67の先端部の内側には股部内側リンク取付部J13が設けられる。股部内側リンク取付部J13には、大腿部内側リンク25Lが取付けられる。突起67は折れ曲がっており、股部内側リンク取付部J13は内側の斜め下に設けられる。股部外側リンク取付部J12と股部内側リンク取付部J13は、股部正面リンク取付部J11と同様な構造の2軸ジンバルである。

【0066】

40

図5、図10、図12、図13、図32および図33を参照して、頭部2の構造について説明する。図32は、頭部2を拡大した側面図である。図33は、頭部2を拡大した斜視図である。肩部フレーム51の上面の中央から首部中心棒26が上方に伸びる。頭部2は、首部中心棒26の先端に設けられた首関節部27に接続している。首関節部27には、首部中心棒26の先端に球面が設けられた球面軸受が用いられる。首関節部27は、頭部2と胸部5を3回転自由度で接続する。頭部2は、正方形の4つの角を切りとった八角形の板状の頭部基準板2Aを有する。頭部基準板2Aに目、耳、口などの機能を実現する装置が取付けられる。

【0067】

50

頭部2は、3本の首部背面アクチュエータ28、首部右側アクチュエータ29、首部左側アクチュエータ30により首関節部27の回りを3回転自由度で回転できる。つまり、前後左右方向にそれぞれ例えば20度程度、頭部2を傾けることができる。さらに、首部

中心棒26の回りに両方向に例えば60度程度、頭部2を回すことができる。

【0068】

肩部フレーム51の上面には、首下部フレーム58が設けられる。首下部フレーム58には、頭部2を動かす3本のアクチュエータが有する可変長リンクの一端が取り付けられる。首下部フレーム58は、水平面上で120度の間隔で中心から伸びる3枚の板状の部分を有する。3枚の板状の部分の先端は90度曲がって、曲がった部分に首部背面リンク取付部J14、首部右側リンク取付部J15、首部右側リンク取付部J16が設けられる。首部背面リンク取付部J14は、肩部フレーム51の背側中央に位置する。首部右側リンク取付部J15は、肩部フレーム51の前側中央の少し右に位置する。首部左側リンク取付部J16は、肩部フレーム51の前側中央の少し左に位置する。

10

【0069】

首部背面リンク取付部J14は、首下部フレーム58から背側に出る回転部材により回転するヨークに、首部背面リンク28Lの他端に設けられた軸部材が回転可能に保持される2軸ジンバルである。右側リンク取付部J15、首部左側リンク取付部J16も同様な構造の2軸ジンバルである。

【0070】

頭部2の下部の背側中央には、頭部背面リンク取付部J17が設けられる。頭部2の下部の右側には、頭部右側リンク取付部J18が設けられる。頭部2の下部の左側には、頭部左側リンク取付部J19が設けられる。

【0071】

20

首部背面リンク28L、首部右側リンク29L、首部左側リンク30Lのそれぞれは、その一端が頭部背面リンク取付部J17、頭部右側リンク取付部J18、頭部左側リンク取付部J19のそれぞれに2回転自由度で取り付けられる。他端は、首部背面リンク取付部J14、首部右側リンク取付部J15、首部右側リンク取付部J16のそれぞれに2回転自由度で取り付けられる。

【0072】

首部背面リンク28Lは、リンク取付具28Nを介して頭部背面リンク取付部J17に付けられる。首部背面リンク28Lのねじ棒および円筒の長さは、頭部背面リンク取付部J17と首部背面リンク取付部J14と間の距離よりも短い。リンク取付具28Nは、側面から見て首部背面リンク28Lの円筒とモータ28Mの間からモータ28Mに沿って伸びL字状に曲がる部材である。L字状のリンク取付具28Nの先端は、ねじ棒が延長された位置で頭部背面リンク取付部J17に付けられる。モータ28Mの下端は、リンク取付具28Nの取付位置よりも下側に存在する。首部右側リンク29L、首部左側リンク30Lも同様な構造である。こうすることで、アクチュエータが有する可変長リンクの長さよりも長いモータを使用できる。

30

【0073】

首部C3は、第2部材である頭部2を第1部材である胸部5に3回転自由度で回転可能に接続する3回転自由度接続機構である。首部C3は、関節部である首関節部27、3本の可変長リンクである首部背面リンク28L、首部右側リンク29Lおよび首部左側リンク30L、3個の第1部材側リンク取付部である首部背面リンク取付部J14、首部右側リンク取付部J15および首部左側リンク取付部J16、3個の第2部材側リンク取付部である頭部背面リンク取付部J17、頭部右側リンク取付部J18および頭部左側リンク取付部J19を有して構成される。

40

【0074】

捻り軸である首部中心棒26は、胸部5に対して方向が固定されている。首部中心棒26は、頭部2に対する角度が変更可能である。首部背面リンク取付部J14、首部右側リンク取付部J15および首部左側リンク取付部J16では、首部中心棒26および首関節部27に対する相対的な位置関係は、固定されている。頭部背面リンク取付部J17、頭部右側リンク取付部J18および頭部左側リンク取付部J19でも、首関節部27に対する相対的な位置関係は、固定されている。

50

【 0 0 7 5 】

首部C 3 での可変長リンクの配置を説明する。図3 4 は、首部C 3 での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。首部C 3 は、3 個の第2 部材側リンク取付部J 1 7、J 1 8、J 1 9 と3 個の第1 部材側リンク取付部J 1 4、J 1 5、J 1 6 とをそれぞれ結ぶ3 本の可変長リンク2 8 L、2 9 L、3 0 L を有する。そのため、3 本の可変長リンク2 8 L、2 9 L、3 0 L の長さを変更することで、頭部2 の胸部5 に対する接続角度を3 回転自由度で変更できる。首関節部2 7 のX 軸回りの回転角度を α_p 、Y 軸回りの回転角度を β_p 、Z 軸回りの回転角度を γ_p とする。

【 0 0 7 6 】

首関節部2 7 は、第2 部材側リンク取付部J 1 8、J 1 9 を結ぶ線分上にある。第2 部材側三角形T 2 は、二等辺三角形であり、首関節部2 7 は底辺の midpoint にある。そのため、第2 部材2 を前後方向に傾ける場合には、可変長リンク2 8 L の長さを変えるだけでよい。第2 部材2 を左右方向に傾ける場合には、可変長リンク2 9 L、3 0 L の一方を長くし、もう一方を短くすればよい。

【 0 0 7 7 】

他の関節部で、捻り軸との角度が変更可能な第1 部材に設けられた2 個の第1 部材側リンク取付部を結ぶ線分上に関節部が存在するように第1 部材側リンク取付部を配置する場合も、同様な効果がある。あるいは、捻り軸との角度が変更可能な第2 部材に設けられた2 個の第2 部材側リンク取付部を結ぶ線分上に関節部が存在するように第2 部材側リンク取付部を配置する場合も、同様な効果がある。

【 0 0 7 8 】

図3 5 は、基準状態で首部C 3 での可変長リンクの配置を首部中心棒2 6 が延在する方向から見た図である。基準状態で、可変長リンク2 9 L、3 0 L と捻り軸2 6 とはねじれの関係にある。可変長リンク2 8 L の第1 部材側リンク取付部J 1 4 と捻り軸2 6 とを含むリンク基準面と可変長リンク2 8 L とがなす傾斜角度 θ_{p1} は、0 度である。可変長リンク2 9 L、3 0 L の傾斜角度 θ_{p2} 、 θ_{p3} は、約1 6 度である。3 本の可変長リンク2 8 L、2 9 L、3 0 L のそれぞれが捻り軸2 6 となす角度の最大値 θ_{pmax} は約1 6 度であり、 $\delta 0$ (例えば、3 度程度) 以上である。可変長リンク2 8 L、2 9 L、3 0 L の長さを変化させた場合に、捻り軸2 6 の回りに回転するトルクが発生し、捻り軸2 6 の回りを回転させることができる。

【 0 0 7 9 】

頭部2 を傾けた場合でも、3 個の傾斜角角度の最大値 θ_{pmax} は $\delta 0$ 以上である。図3 6 は、頭部2 を回転させて前方に傾けた状態での首部C 3 での可変長リンクの配置を首部中心棒2 6 が延在する方向から見た図である。図3 6 では、頭部2 を左に1 5 度捻って、左に1 5 度の方向に3 0 度前に傾けた状態での可変長リンクの配置を示す。可変長リンク2 8 L、3 0 L の傾斜角度 θ_{p1} 、 θ_{p3} が大きくなり、可変長リンク2 9 L の傾斜角度 θ_{p2} が小さくなる。捻り軸2 6 の回りに回転させない場合は、第2 部材(頭部) 2 を前後に傾けても、可変長リンク2 9 L、3 0 L の傾斜角度 θ_{p2} 、 θ_{p3} は、約1 6 度で変化しない。第2 部材2 を左右に傾ける場合は、可変長リンク2 9 L、3 0 L の傾斜角度 θ_{p2} 、 θ_{p3} の一方が大きくなり、もう一方が小さくなる。したがって、可変長リンク2 8 L、2 9 L、3 0 L のそれぞれの長さが取りうる範囲内で変化する各場合で、どれか1 本の可変長リンクは、捻り軸2 6 に対してねじれの関係にあり、3 本のリンクの傾斜角度の中での最大値 θ_{pmax} は、約1 6 度以上である。

【 0 0 8 0 】

3 個の第1 部材側リンク取付部で決まる平面、または、3 個の第2 部材側リンク取付部で決まる平面を、リンク取付平面と呼ぶ。捻り軸である首中心棒2 6 とリンク取付平面の交点を、捻り中心と呼ぶ。第1 部材である胸部5 側に存在する第1 部材側リンク取付部J 1 4、J 1 5、J 1 6 は、リンク取付平面の上で、捻り中心から等距離にある円周上に中心角が1 2 0 度となる3 点に配置される。第2 部材である頭部2 側の第2 部材側リンク取付部J 1 7、J 1 8、J 1 9 は、リンク取付平面の上で、首関節部2 7 に対して等距離で

10

20

30

40

50

、互いに90度、90度、180度の中心角を有する位置に配置される。そのため、首関節部27がどのように回転しても、可変長リンク28L、29L、30Lが3本とも、捻り軸26と同一平面上になることはない。すなわち、可変長リンク28L、29L、30Lの少なくとも1本は、捻り軸26とねじれの関係にある。

【0081】

他の3回転自由度接続機構でも、第1部材側のリンク取付平面での捻り中心と3個の第1部材側リンク取付部とがなす3個の中心角と、第2部材側のリンク取付平面での捻り中心と3個の第2部材側リンク取付部とがなす3個の中心角とを異ならせている。そのため、3本の可変長リンクを含む平面が捻り軸も含むことが、3本の可変長リンクすべてで同時に発生することはない。1本の可変長リンク(リンクAと呼ぶ)が捻り軸と同一平面上に配置される状態で、リンクAと捻り軸が同一平面上であることを維持するように、その平面に垂直な回転軸の回りに関節部を可動範囲内で回転させる。この可動範囲内の関節部の回転では、以下のどちらかの状態になる。(A)残りの2本の可変長リンクの少なくとも一本は、捻り軸と同一平面上に配置されない。(B)残りの2本の可変長リンクは、それぞれ異なる回転角度で捻り軸と同一平面上に配置される。そのため、関節部がどのように回転しても、可変長リンクを含む平面が捻り軸も含むことが、3本の可変長リンクすべてで同時に発生することはない。すなわち、3本の可変長リンクの少なくとも1本は、捻り軸とねじれの関係にある。

【0082】

首部中心棒26(捻り軸)の回りに回転する際に、首部右側リンク29Lおよび首部左側リンク30Lの一方は長くなり、もう一方は短くなる。そのため、捻り軸の回りに回転する際に、伸びるリンクにより押される力と、短くなるリンクにより引かれる力の両方が発生して、捻り軸の回りに回転しやすくなる。

【0083】

図10から図16、図37を参照して肩部C4の構造を説明する。図37は、人型ロボット100の上半身の斜視図である。上腕部7は、肩関節部13により胸部5に2回転自由度で接続する。上腕部7および前腕部8は真つすぐな棒状である。上腕部7の肩関節部13から決められた距離の位置に、上腕部駆動主リンク14Lが2回転自由度で取付けられる上腕部主リンク取付部J20が設けられる。上腕部主リンク取付部J20は、上腕部7が延在する方向の回りを回転する回転部材を、上腕部7となす角度を変更可能に上腕部駆動主リンク14Lの一端に設けられた半円状のヨークが挟む構造の2軸ジンバルである。回転部材に垂直な同一直線上に存在する2個の円柱状の突起が両側に出ており、その突起を上腕部駆動主リンク14L側のヨークが回転可能に挟む構造である。

【0084】

上腕部駆動主リンク14Lの上腕部主リンク取付部J20から決められた距離の位置に、上腕部駆動補助リンク15Lの一端が1回転自由度で取付けられる主リンク側補助リンク取付部J21が設けられる。上腕部駆動主リンク14Lおよび上腕部駆動補助リンク15Lの中心線は同一平面上にある。この平面を上腕駆動リンク面と呼ぶ。主リンク側補助リンク取付部J21では、上腕駆動リンク面上での角度が変更できる1回転自由度で回転可能に、上腕部駆動補助リンク15Lが上腕部駆動主リンク14Lに取付けられる。主リンク側補助リンク取付部J21は、上腕部駆動主リンク14Lに設けられた上腕駆動リンク面に垂直な突起(軸部材)を、上腕部駆動補助リンク15Lの一端に設けられたヨークが挟む構造である。

【0085】

胸側主リンク取付部J1、胸側補助リンク取付部J2、主リンク側補助リンク取付部J21により決まる平面を上腕駆動リンク面と呼ぶ。上腕部駆動主リンク14Lおよび上腕部駆動補助リンク15Lの長さが増えると、上腕駆動リンク面は胸側主リンク取付部J1と胸側補助リンク取付部J2を通る直線を回転軸として回転する。上腕部駆動主リンク14Lと上腕部駆動補助リンク15Lとは、上腕駆動リンク面に存在する。上腕部駆動主リンク14Lと上腕部駆動補助リンク15Lとの相対的な位置関係は、主リンク側補助リ

ンク取付部J 2 1 で上腕部駆動主リンク1 4 L と上腕部駆動補助リンク1 5 L とがなす角度が変化するだけである。したがって、主リンク側補助リンク取付部J 2 1 は上腕駆動リンク面内での回転だけができる1 回転自由度でよい。主リンク側補助リンク取付部J 2 1 は、2 回転自由度を有してもよい。

【 0 0 8 6 】

図3 8 は、左の肩関節部1 3 での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。肩関節部1 3、胸側主リンク取付部J 1 および胸側補助リンク取付部J 2 は、胸部5 に固定されており、互いの相対的な位置関係は固定である。上腕部主リンク取付部J 2 0 は、肩関節部1 3 からの距離が決まっている。主リンク側補助リンク取付部J 2 1 は、上腕部駆動主リンク1 4 L 上で、上腕部主リンク取付部J 2 0 から決められた距離の位置に存在する。上腕部主リンク取付部J 2 0 の位置が決まると、肩関節部1 3 から上腕部主リンク取付部J 2 0 へ向かう方向に上腕部7 は向く。上腕部主リンク取付部J 2 0 の位置を変更することで、胸部5 に対して上腕部7 を動かすことができる。上腕部駆動主リンク1 4 L および上腕部駆動補助リンク1 5 L は、トラス構造を構成する。

【 0 0 8 7 】

上腕部駆動主リンク1 4 L および上腕部駆動補助リンク1 5 L の長さが決まると、肩関節部1 3、胸側主リンク取付部J 1 および胸側補助リンク取付部J 2 のそれぞれからの上腕部主リンク取付部J 2 0 までの距離が決まる。3 点からの上腕部主リンク取付部J 2 0 までの距離が決まるので、上腕部主リンク取付部J 2 0 の位置が決まる。

【 0 0 8 8 】

上腕部駆動主リンク1 4 L の長さを長くすることで上腕部7 が上がり、短くすることで下がる。上腕部駆動補助リンク1 5 L を長くすることで上腕部7 が前に出て、短くすることで背側に移動する。上腕部7 は、肩関節部1 3 を回転の中心にして決められた可動範囲内で自由に動くことができる。例えば、上下および前後方向に関して、下向きを0 度とし、前向きを9 0 度として、- 3 0 度から9 5 度程度まで、上腕部7 を回転できる。また、左右方向には、外側に9 5 度程度、正面を越えて内側に5 度(- 5 度)程度、上腕部7 を回転できる。

【 0 0 8 9 】

肩関節部1 3 で使用するタイプの2 軸ジンバルでは、2 軸ジンバルの回転部材の回転軸R x1の方向に上腕部7 が向いた場合(特異点と呼ぶ) は、2 軸ジンバルのヨークに直交する方向には上腕部7 を傾けることができない。回転軸R x1の方向を、水平面内で人型ロボット1 0 0 の左右方向(X 軸方向) に対して後側に θ 1 の角度をなす方向としている。そうすることで、特異点が肩関節部1 3 よりも後側に存在することになる。そのため、上腕部7 を左右方向よりも前側の可動範囲内で自由に動かすことができる。従来の人型ロボットでは、肩関節部の2 軸ジンバルの特異点を避けて動くために不自然な動きをする場合がある。人型ロボット1 0 0 では、可動範囲内では特異点を避けるための不自然な動きをしなくてもよい。

【 0 0 9 0 】

肩関節部1 3 は、胸部5 の上部に存在して左右方向に伸びる肩部フレーム5 1 の端部に存在する。肩関節部1 3 は、胸部5 の中心から遠い側でかつ後方側に伸びた回転軸R x1の回りに回転可能である。さらに、回転軸R x1と上腕部7 とがなす角度を変更する回転が可能である。肩関節部1 3 は、上腕部7 を2 回転自由度で回転可能に胸部5 に接続する。胸側主リンク取付部J 1 は、肩関節部1 3 よりも下側かつ前側の位置で胸部5 に設けられる。胸側補助リンク取付部J 2 は、肩関節部1 3 よりも下側かつ後側の位置で胸部5 に設けられる。なお、胸側主リンク取付部J 1 を肩関節部1 3 よりも後側に設け、胸側補助リンク取付部J 2 を前側に設けてもよい。胸側主リンク取付部J 1 および胸側補助リンク取付部J 2 を、前後方向に肩関節部1 3 を挟む位置に設ければよい。

【 0 0 9 1 】

図1 1 から図1 5、図3 9 から図4 4 を参照して肘部C 5 の構造を説明する。図3 9 と図4 0 は、左の上肢部3 の正面図および側面図である。図4 1 と図4 2 は、左の上肢部3

10

20

30

40

50

の肘関節部31までの部分を拡大した正面図および側面図である。図43は、左右の肘関節部31を90度曲げた状態での人型ロボット100の正面図である。図44は、左右の肘関節部31を90度曲げた状態での人型ロボット100の上から見た平面図である。図43と図44では、体幹部1と左右の上肢部3だけを示す。図43と図44では、右の上腕部7が体幹部1から離れるように移動し、左の上腕部7が体幹部1に近づくように移動し、左右の肘関節部31を90度曲げている。図44から分るように、左右の前腕部8は、体幹部1の正面方向に対してそれぞれ外側に開いた方向を向いている。つまり、肘関節部31の主に曲がる方向は、体幹部1の正面方向(Y軸)と角度 $\xi 2$ をなす方向である。

【0092】

上肢部3の正面方向は、肘関節部31が主に曲がる方向だけに90度曲げたときの前腕部8が向く方向である。人型ロボット100が直立して上肢部3を鉛直下向きにした時に、上肢部3の正面方向は、人型ロボット100の正面方向よりも $\xi 2$ だけ外側を向いている。そのため、人型ロボット100の正面図である図2では、上肢部3を斜めから見ることになる。上肢部3の説明では、上肢部3の正面方向をY軸方向とし、上肢部3の正面方向と直交する方向をX軸方向とする。

【0093】

前腕部8は、上腕部7に肘関節部31により2回転自由度で接続される。肘関節部31は、上腕部7と同じ方向の回転軸Rz2を有し、回転軸Rz2により回転する前腕部8の上腕部7に対する角度も変更できる2軸ジンバルである。肘関節部31では、回転部材は上腕部7に設けられ、ヨークは前腕部8に設けられる。上腕部7および前腕部8には、2本の長さが決まったリンクである肘部駆動外側リンク32および肘部駆動内側リンク33が取付けられる。肘部駆動外側リンク32および肘部駆動内側リンク33は、2本の肘駆動リンクである。肘部駆動外側リンク32および肘部駆動内側リンク33は、リンクのねじれを可能とする1回転自由度を有する。

【0094】

肘部駆動外側リンク32および肘部駆動内側リンク33の上腕部7への取付位置は、移動可能である。そのために、上腕部7の両側に、2本のリニアアクチュエータである上腕部外側アクチュエータ34および上腕部内側アクチュエータ35が、上腕部7に平行に設けられる。図11などに示すように、上腕部7の肩関節部13の近くには、上腕部外側アクチュエータ34のモータ34Mと上腕部内側アクチュエータ35のモータ35Mを保持するアクチュエータ保持具7Aが設けられる。

【0095】

肘部駆動外側リンク32の上腕部7への取付位置である上腕部外側リンク取付部J22は、上腕部外側アクチュエータ34により移動する。肘部駆動内側リンク33の上腕部7への取付位置である上腕部内側リンク取付部J23は、上腕部内側アクチュエータ35により移動する。上腕部外側リンク取付部J22および上腕部内側リンク取付部J23には、肘部駆動外側リンク32および肘部駆動内側リンク33がそれぞれ2回転自由度で取付けられる。肘部駆動外側リンク32および肘部駆動内側リンク33は、トラス構造を構成する。

【0096】

図41を参照して、上腕部外側アクチュエータ34の構造を説明する。上腕部外側アクチュエータ34が有するモータ34Mは、肩関節部13に近い側でタイミングベルトにより動力をねじ棒34Aに伝えて、ねじ棒34Aを回転させる。ねじ棒34Aの雄ねじとかみ合う雌ねじが設けられた貫通穴を有するナット34Bは、ねじ棒34Aの長さ方向に移動可能である。ナット34Bをねじ棒34Aの回りに回転させない機構が設けられている。そのため、ねじ棒34Aが回転すると、ナット34Bがねじ棒34Aに沿って移動する。上腕部外側リンク取付部J22はナット34Bに取付けられており、ナット34Bが移動すると上腕部外側リンク取付部J22も移動する。ナット34Bは、上腕部外側アクチュエータ34により移動する移動部材である。

【0097】

ナット 3 4 B をねじ棒 3 4 A の回りに回転させない機構は、ねじ棒 3 4 A と平行に設けられたレール 3 4 C と、レール 3 4 C を挟みナット 3 4 B に接続した把持部 3 4 D を有する。把持部 3 4 D は、レール 3 4 C と間の摩擦は小さくなるように設けられる。把持部 3 4 D がレール 3 4 C を挟んでいるので、把持部 3 4 D およびナット 3 4 B はねじ棒 3 4 A の回りを回転しない。他の機構により、ナット 3 4 B をねじ棒 3 4 A の回りに回転しないようにしてもよい。

【 0 0 9 8 】

上腕部内側アクチュエータ 3 5 および上腕部内側リンク取付部 J 2 3 も、同様な構造である。上腕部内側アクチュエータ 3 5 は、モータ 3 5 M、ねじ棒 3 5 A、ナット 3 5 B、レール 3 5 C および把持部 3 5 D を有する。上腕部内側リンク取付部 J 2 3 はナット 3 4 5 に取付けられている。ナット 3 5 B は、上腕部内側アクチュエータ 3 5 により移動する移動部材である。

【 0 0 9 9 】

上腕部外側リンク取付部 J 2 2 は、次のような構造を有する 2 軸ジンバルである。上腕部外側アクチュエータ 3 4 により移動する移動部材であるナット 3 4 B に回転部材、回転部材により回転するヨーク、およびヨークが回転可能に挟む軸部材が設けられる。肘部駆動外側リンク 3 2 の端部には、軸部材が入る貫通穴が設けられる。上腕部内側リンク取付部 J 2 3 も、同様な構造の 2 軸ジンバルである。

【 0 1 0 0 】

前腕部 8 の肘関節部 3 1 から決められた距離の位置に、肘部駆動内側リンク 3 3 が 2 回転自由度で取付けられる肘部駆動内側リンク取付部 J 2 4 が設けられる。肘部駆動内側リンク取付部 J 2 4 は、上腕部外側リンク取付部 J 2 2 と同様な構造の 2 軸ジンバルである。肘部駆動内側リンク 3 3 の肘部駆動内側リンク取付部 J 2 4 から決められた距離の位置に、肘部駆動外側リンク 3 2 が 2 回転自由度で取付けられる肘部駆動外側リンク取付部 J 2 5 が設けられる。肘部駆動外側リンク取付部 J 2 5 は、肘部駆動内側リンク 3 3 に設けられた突起を挟むヨークが肘部駆動外側リンク 3 2 の一端から伸びる構造である。肘部駆動外側リンク取付部 J 2 5 のヨークは、肘部駆動外側リンク 3 2 と肘部駆動内側リンク 3 3 とがなす角度が小さい場合でも突起を挟めるように、十分な長さを持たせる。肘部駆動内側リンク 3 3 の突起が設けられた部分は、肘部駆動内側リンク 3 3 の回りを回転可能である。肘部駆動外側リンク 3 2 の一端から伸びるヨークは、肘部駆動内側リンク 3 3 とヨークとがなす角度が変更可能なように突起を挟む。

【 0 1 0 1 】

上腕部外側リンク取付部 J 2 2 および肘部駆動内側リンク取付部 J 2 4 のどちらか少なくとも一方を、3 回転自由度を有するようにしてもよい。上腕部内側リンク取付部 J 2 3 および肘部駆動内側リンク取付部 J 2 4 のどちらか少なくとも一方を、3 回転自由度を有するようにしてもよい。

【 0 1 0 2 】

図 4 5 は、左の肘部 C 5 でのリンク配置を説明する斜視図である。肘関節部 3 1、上腕部外側アクチュエータ 3 4 および上腕部内側アクチュエータ 3 5 は、上腕部 7 に固定されている。上腕部外側リンク取付部 J 2 2 は、上腕部外側アクチュエータ 3 4 により上腕部 7 に沿って移動する。上腕部内側リンク取付部 J 2 3 は、上腕部内側アクチュエータ 3 5 に沿って移動する。前腕部 8 に設けられる肘部駆動内側リンク取付部 J 2 4 は、肘関節部 3 1 から決められた距離 K_{1u} の位置に存在する。肘部駆動内側リンク 3 3 に設けられる肘部駆動外側リンク取付部 J 2 5 は、肘部駆動内側リンク取付部 J 2 4 (厳密には、その回転中心) から決められた距離 K_{2u} の位置に存在する。前腕部 8 は、肘関節部 3 1 (厳密には、その回転中心) から距離 K_{1u} の位置にある肘部駆動内側リンク取付部 J 2 4 の方向に向く。肘部駆動内側リンク取付部 J 2 4 の位置を変更することで、上腕部 7 に対して前腕部 8 を動かすことができる。

【 0 1 0 3 】

肘部駆動内側リンク 3 3 および肘部駆動外側リンク 3 2 は、長さが決まっている。上腕

10

20

30

40

50

部外側リンク取付部J 2 2 および上腕部内側リンク取付部J 2 3 が上腕部7 に沿って移動することで、肘部駆動内側リンク取付部J 2 4 の位置が変化する。

【 0 1 0 4 】

肘部C 5 は、肘関節部3 1、肘部駆動内側リンク3 3、肘部駆動外側リンク3 2、前腕側主リンク取付部である肘部駆動内側リンク取付部J 2 4、肘部駆動内側リンク3 3 に設けられた主リンク側補助リンク取付部である肘部駆動外側リンク取付部J 2 5、2 個の上腕側リンク取付部である上腕部内側リンク取付部J 2 3 および上腕部外側リンク取付部J 2 2、2 本のリニアアクチュエータである上腕部外側アクチュエータ3 4 および上腕部内側アクチュエータ3 5 を有して構成される。

【 0 1 0 5 】

上腕部外側リンク取付部J 2 2 および上腕部内側リンク取付部J 2 3 が共に肩関節部1 3 に近くなるように移動すると、肘関節部3 1 が曲がって前腕部8 が上腕部7 に近づく。肩関節部1 3 から遠くなるように移動すると、肘関節部3 1 が伸びて前腕部8 が上腕部7 から離れる。上腕部外側リンク取付部J 2 2 を肩関節部1 3 に近くなるように移動させ、上腕部内側リンク取付部J 2 3 は遠くなるように移動させると、前腕部8 が外側を向く。上腕部内側リンク取付部J 2 3 を肩関節部1 3 に近くなるように移動させ、上腕部外側リンク取付部J 2 2 は遠くなるように移動させると、前腕部8 が内側を向く。

【 0 1 0 6 】

肘関節部3 1 は、上腕部7 と前腕部8 が1 直線になる状態から、上腕部7 と前腕部8 との間の角度が例えば7 0 度程度になるまで、上肢部3 の正面方向と上腕部7 とを含む平面内(肘主駆動面)で角度を変化させることができる。上腕部7 に垂直な平面内(肘副駆動面)では、肘関節部3 1 を直角に曲げた状態で、内側および外側に例えば7 0 度程度は回転できる。肘主駆動面での肘関節部3 1 の回転角度が直角(9 0 度)でない場合は、肘副駆動面での回転角度は直角の場合よりも小さくなる。肘関節部3 1 の回転角度が1 8 0 度の状態すなわち肘関節部3 1 を伸ばした状態では、肘副駆動面で回転できない。

【 0 1 0 7 】

肘関節部3 1 を駆動する2 本のリンクを固定長にして上腕側でのリンク取付部の位置を移動させる方式とすることで、肘関節部3 1 を駆動する機構をコンパクトにできる。肘関節部を2 本の可変長リンクで駆動する場合には、肘関節部を肘副駆動面で回転させるために、2 本のリンクが前腕部の取付位置でなす角度を決められた角度以上にすることが必要である。そのためには、2 本の可変長リンクの取付位置の間隔は、この実施の形態で使用する2 本のリニアアクチュエータの間隔よりも広くする必要がある。

【 0 1 0 8 】

肘部駆動内側リンク3 3 は、長さが決まった肘部駆動主リンクである。肘部駆動外側リンク3 2 は、長さが決まった肘部駆動補助リンクである。肘部駆動内側リンク取付部J 2 4 は、肘部駆動内側リンク3 3 の一端が少なくとも2 回転自由度を有して回転可能に取付けられる前腕側主リンク取付部である。肘部駆動外側リンク取付部J 2 5 は、肘部駆動外側リンク3 2 の一端が少なくとも2 回転自由度を有して回転可能に取付けられる主リンク側補助リンク取付部である。上腕部内側リンク取付部J 2 3 および上腕部外側リンク取付部J 2 2 は、肘部駆動内側リンク3 3 および肘部駆動外側リンク3 2 の他端がそれぞれ少なくとも2 回転自由度を有して回転可能に取付けられ、上腕部7 に沿って移動可能に上腕部7 に設けられた2 個の上腕側リンク取付部である。

【 0 1 0 9 】

肘部駆動外側リンク3 2 の前腕部8 側の一端を、肘部駆動内側リンク3 3 ではなく前腕部8 に取付けるようにしてもよい。その場合には、2 本の肘部駆動リンクである肘部駆動外側リンク3 2 および肘部駆動内側リンク3 3 の一端がそれぞれ少なくとも2 回転自由度を有して回転可能に取付けられる2 個の前腕側リンク取付部が前腕部8 に設けられることになる。

【 0 1 1 0 】

上腕部外側アクチュエータ3 4 が有するナット3 4 B は、肘部駆動外側リンク3 2 を移

10

20

30

40

50

動させる移動部材である。上腕部内側アクチュエータ35が有するナット35Bは、肘部駆動内側リンク33を移動させる移動部材である。ねじ棒34Aおよびねじ棒35Aは、ナット34Bおよびナット35Bをそれぞれ上腕部7に沿って移動させるガイド部である。モータ34Mは、ねじ棒34Aに対するナット34Bの位置を変更する力を発生させる動力源である。モータ35Mは、ねじ棒35Aに対するナット35Bの位置を変更する力を発生させる動力源である。上腕部外側アクチュエータ34は、ナット34B、ねじ棒34Aおよびモータ34Mを有するリニアアクチュエータである。上腕部内側アクチュエータ35は、ナット35B、ねじ棒35Aおよびモータ35Mを有するリニアアクチュエータである。

【0111】

10

図46から図49を参照して、手首部C6の構造を説明する。図46、図47、図48、図49は、骨格構造での左の肘関節部31から先の部分を拡大した斜視図、正面図、左側面図、裏面図である。

【0112】

人間の手に似た手部9は、前腕部8に手首関節部36により3回転自由度で接続される。手首関節部36には、棒状の前腕部8の一端に設けられた球面を回転可能に保持する球面軸受が用いられる。球面を受ける部材は手首板部91に設けられる。手部9は、手首関節部36の回りを3回転自由度で回転できる。3本のアクチュエータすなわち前腕部正面アクチュエータ37、前腕部外側アクチュエータ38、前腕部内側アクチュエータ39の長さが変化すると、手部9と前腕部8との間の角度が変化する。手部9を前腕部8に対して、例えば、手の平の方向(正面方向)に20度程度、手の甲の方向(裏面方向)に20度程度、前腕部8の方向および正面から裏面に向かう方向に垂直な方向の両側にそれぞれ20度程度、傾けることができる。前腕部8の回りに両方向に70度程度、手部9を回転できる。

20

【0113】

手首部C6の正面方向および裏面方向の可動範囲の角度が小さいが、肘部C5と合わせて90度、曲げることができる。手の平を壁などにあてて押しつける際は、例えば、手首部C6で手の甲側に20度曲げて、残りは、肘部C5を70度程度曲げて、結果的に体の上下軸と平行な手の平の面を作り出し、胸面と平行に手の平を押し出す動作となる。

【0114】

30

前腕部正面リンク37L、前腕部外側リンク38Lおよび前腕部内側リンク39Lの一端を前腕部8に取付けるために、前腕部8の手首関節部36から決められた距離の位置に前腕部正面リンク取付部J26、前腕部外側リンク取付部J27および前腕部内側リンク取付部J28が設けられる。前腕部正面リンク取付部J26は、前腕部8の正面に設けられる。前腕部外側リンク取付部J27は、前腕部8に垂直な平面で前腕部正面リンク取付部J26に対して90度の角度をなす位置に設けられる。前腕部内側リンク取付部J28は、前腕部外側リンク取付部J27との間の角度が180度になる位置に設けられる。前腕部外側リンク取付部J27と前腕部内側リンク取付部J28を結ぶ線分の中点が、前腕部8の断面の中心と一致する。

【0115】

40

手部9は、手首板部91、板状の掌板部92、掌板部92を手首板部91に垂直に接続する手部取付部98、4本の普通指部である第1指部93、第2指部94、第3指部95、第4指部96、および対向可能指部97を有する。手首板部91は、長い辺と短い辺が交互に並ぶ六角形の板状である。4本の普通指部は、掌板部92の手首板部91と反対側に接続される。対向可能指部97は、4本の普通指部とは異なる方向で掌板部92に4接続し、普通指部と対向する位置に移動できる。手首板部91は、手首関節部36を介して前腕部8と接続する。4本の普通指部は、ほぼ同じ方向を向いて並ぶ。

【0116】

手部9は、人間の手に似ている。対向可能指部97は親指に相当し、第1指部93、第2指部94、第3指部95、第4指部96はそれぞれ、人差指、中指、薬指、小指に相当

50

する。

【 0 1 1 7 】

掌板部9 2 において、指部が曲がる側に存在する面を手の平側とよび、その反対側の面を手の甲側と呼ぶ。手部では、手の平側を正面とし、手の甲側を裏面とする。掌板部9 2 と平行な平面において、普通指部が延びる方向を指先方向と呼ぶ。指先方向は、手首から指先に向かう方向である。指先方向と直交する方向を手幅方向と呼ぶ。

【 0 1 1 8 】

前腕部正面リンク取付部J 2 6 は、前腕部8 の正面側に出る回転部材により回転するヨークに、前腕部正面リンク3 7 L の一端に設けられた軸部材が回転可能に保持される2 軸ジンバルである。前腕部外側リンク取付部J 2 7 、前腕部内側リンク取付部J 2 8 も同様な構造の2 軸ジンバルである。

10

【 0 1 1 9 】

前腕部正面リンク3 7 L では、手部9 側でモータ3 7 Mが発生する力がタイミングベルトによりナット3 7 Bに伝えられる構造である。前腕部正面リンク3 7 L は、可変長リンクの円筒とモータの間からL 字状に伸びるリンク取付具3 7 Nを介して前腕部正面リンク取付部J 2 6 に取付けられる。モータの一端は、片側の取付位置よりも肘関節部3 1 に近い位置に存在する。前腕部外側リンク3 8 L 、前腕部内側リンク3 9 L も同様な構造である。

【 0 1 2 0 】

手首板部9 1 が前腕部8 に垂直であり対向可能指部9 7 が上肢部3 の正面方向に存在する状態が、手部9 の基準状態である。手首板部9 1 に前腕部正面リンク3 7 L 、前腕部外側リンク3 8 L および前腕部内側リンク3 9 L のもう一端を取付けるために、手首板部9 1 の前腕部8 側の面に手部側正面リンク取付部J 2 9 、手部側外側リンク取付部J 3 0 および手部側内側リンク取付部J 3 1 が設けられる。

20

【 0 1 2 1 】

手部側正面リンク取付部J 2 9 、手部側外側リンク取付部J 3 0 、手部側内側リンク取付部J 3 1 および手首関節部3 6 は、同一平面上に存在する。手部側正面リンク取付部J 2 9 、手部側外側リンク取付部J 3 0 および手部側内側リンク取付部J 3 1 は、正三角形を構成する位置に配置される。手首関節部3 6 、その正三角形の重心に位置する。そのため、手首関節部3 6 は、手部側外側リンク取付部J 3 0 および手部側内側リンク取付部J 3 1 を結ぶ線分の二等分線上に存在する。手部側正面リンク取付部J 2 9 は、前腕部8 と前腕部正面リンク取付部J 2 6 で決まる平面上に基準状態では存在する。

30

【 0 1 2 2 】

手部側正面リンク取付部J 2 9 は、手首板部9 1 の前腕側の面に設けられた突起から手首関節部3 6 の方向に出る回転部材により回転するヨークに、前腕部正面リンク3 7 L の一端に設けられた軸部材が回転可能に保持される2 軸ジンバルである。手部側外側リンク取付部J 3 0 、手部側内側リンク取付部J 3 1 も同様な構造の2 軸ジンバルである。

【 0 1 2 3 】

前腕部正面リンク3 7 L 、前腕部外側リンク3 8 L および前腕部内側リンク3 9 L のそれぞれは、その一端が手部側正面リンク取付部J 2 9 、手部側外側リンク取付部J 3 0 および手部側内側リンク取付部J 3 1 のそれぞれに2 回転自由度で取付けられる。それぞれ他端は、前腕部側正面リンク取付部J 2 6 、前腕部側外側リンク取付部J 2 7 、前腕部側内側リンク取付部J 2 8 のそれぞれに2 回転自由度で取付けられる。

40

【 0 1 2 4 】

手首部C 6 は、第2 部材である手部9 を第1 部材である前腕部8 に3 回転自由度で回転可能に接続する3 回転自由度接続機構である。手首部C 6 は、関節部である手首関節部3 6 、3 本の可変長リンクである前腕部正面リンク3 7 L 、前腕部外側リンク3 8 L および前腕部内側リンク3 9 L 、3 個の第1 部材側リンク取付部である前腕部正面リンク取付部J 2 6 、前腕部外側リンク取付部J 2 7 および前腕部内側リンク取付部J 2 8 、3 個の第2 部材側リンク取付部である手部側正面リンク取付部J 2 9 、手部側外側リンク取付部J

50

30 および手部側内側リンク取付部J 31を有して構成される。

【0125】

第1部材である前腕部8は、捻り軸でもある。前腕部8は、手部9に対する角度が変更可能である。前腕部正面リンク取付部J 26、前腕部外側リンク取付部J 27および前腕部内側リンク取付部J 28では、手首関節部36に対する相対的な位置関係は、固定されている。第2部材である手部9に設けられたリンク取付部である手部側正面リンク取付部J 29、手部側外側リンク取付部J 30および手部側内側リンク取付部J 31でも、手首関節部36に対する相対的な位置関係は、手首板部91により固定されている。

【0126】

手首部C6での可変長リンクの配置を説明する。図50は、左の手首部C6での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。3個の第1部材側リンク取付部J 26、J 27、J 28と3個の第2部材側リンク取付部J 29、J 30、J 31とをそれぞれ結ぶ3本の可変長リンク37L、38L、39Lを、手首部C6は有する。そのため、3本の可変長リンク37L、38L、39Lの長さを変更することで、手部9の前腕部8に対する接続角度を3回転自由度で変更できる。手首関節部36のX軸回りの回転角度を α_v 、Y軸回りの回転角度を β_v 、Z軸回りの回転角度を γ_v とする。

10

【0127】

手首関節部36は、第2部材側リンク取付部J 29、J 30、J 31で決まるリンク取付平面の上にある。そのため、手首関節部36は、リンク取付平面と捻り軸8との交点である捻り中心でもある。第2部材三角形T3は、正三角形である。手首関節部36は、第2部材三角形T3の重心の位置に存在する。第2部材側リンク取付部J 29と捻り中心を通る直線に対して、第2部材側リンク取付部J 30、J 31は対称に配置される。

20

【0128】

図51は、基準状態で左の手首部C6での可変長リンクの配置を前腕部が延在する方向から見た図である。基準状態で、可変長リンク38L、39Lは、捻り軸36とねじれの関係にある。可変長リンク37Lの第1部材側リンク取付部J 26と捻り軸8とを含むリンク基準面と可変長リンク37Lとがなす傾斜角度 θ_{v1} は、0度である。可変長リンク38L、39Lの傾斜角度 θ_{v2} 、 θ_{v3} は、約8.1度である。基準状態では、3本の可変長リンク37L、38L、39Lの傾斜角度の最大値 θ_{vmax} は約8.1度であり、 $\delta 0$ (例えば、3度程度)以上である。可変長リンク38L、39Lの長さを変化させる場合に、捻り軸8の回りに回転するトルクが発生し、捻り軸8の回りを回転させることができる。

30

【0129】

手部9を前腕部8に対して可動範囲内で傾けたり捻ったりした場合でも、3本の可変長リンク37L、38L、39Lの少なくとも1本は捻り軸8とねじれの関係にあり、その傾斜角度の最大値 θ_{vmax} は、 $\delta 0$ 以上である。基準状態では、可変長リンク37Lは捻り軸8と同一平面上にあり、可変長リンク38L、39Lは捻り軸8とねじれの関係にある。可変長リンク37Lを捻り軸8と同一平面上にあるようにしたままで、可変長リンク38L、39Lの傾斜角度 θ_{v2} 、 θ_{v3} がどちらも小さくなるのは、手部9を第4指部96側に傾ける場合である。図52は、左の手首部C6を第4指部96側に傾けた状態での可変長リンクの配置を前腕部8が延在する方向から見た図である。図52では、第4指部側に20度、手部9を傾けている。可変長リンク38L、39Lの傾斜角度 θ_{v2} 、 θ_{v3} は、約7.4度である。手首部C6を手の平の方向または手の甲方向に傾ける場合、および手首部C6を捻り軸8の回りに回転させる場合は、可変長リンク38L、39Lの傾斜角度 θ_{v2} 、 θ_{v3} の一方が大きくなり、もう一方が小さくなる。

40

【0130】

図11、図21、図22、図53から図61を参照して、大腿部10を腰部6に対して動かす股部C7の構造を説明する。図53、図54、図55は、骨格構造での腰部から下の部分の正面図、左側面図および背面図である。図56は、骨格構造での膝関節部40から下の部分の斜視図である。図57、図58、図59は、大腿部を拡大した正面図、左側面図および背面図である。図60は、大腿部を右斜め前から見た斜視図である。図61は

50

、大腿部を右斜め後から見た斜視図である。

【 0 1 3 1 】

図5 3 に示されるように、基準状態では、正面から見た大腿部1 0 を通る直線を股関節部2 2 よりも上側に延ばした直線上に、股部正面リンク取付部J 1 1 が存在する。股部外側リンク取付部J 1 2 は、水平に外側に出ている。股部内側リンク取付部J 1 3 は、内側で斜め前下の方向に出ている。基準状態では、正面から見ると、股関節部2 2 、膝関節部4 0 、足首関節部4 1 が鉛直な同一直線上に存在する。図5 8 に示すように、平板上での下肢部接続フレーム6 2 は、水平面(X Y 平面) に対して角度 ξ 3 (約4 5 度) で傾斜し、前方が高い。そのため、股部正面リンク取付部J 1 1 、股部外側リンク取付部J 1 2 および股部内側リンク取付部J 1 3 で決まる平面は、その法線が前方斜め下を向く。

10

【 0 1 3 2 】

大腿部1 0 は、棒状の大腿骨部1 0 A、大腿骨部1 0 Aに垂直に設けられた膝部側リンク取付板1 0 B、膝部側リンク取付板1 0 Bと膝関節部4 0 をつなぐ2 個のフレームである膝部接続フレーム1 0 Cを有する。膝部接続フレーム1 0 Cは、膝関節部4 0 が大腿骨部1 0 Aよりも後方に位置するように、大腿骨部1 0 Aに対して傾斜して膝部側リンク取付板1 0 Bと接続する。膝部側リンク取付板1 0 Bに設けられた3 個のリンク取付部に、股関節部2 2 を3 回転自由度で回転させる3 本の可変長リンクの一端がそれぞれ取付けられる。膝関節部4 0 が大腿骨部1 0 Aよりも後方に存在することで、基準状態で股関節部2 2 、膝関節部4 0 、足首関節部4 1 が、正面から見て鉛直線上に存在するように配置しやすい。

20

【 0 1 3 3 】

大腿部正面リンク2 3 L、大腿部外側リンク2 4 Lおよび大腿部内側リンク2 5 Lは、大腿部1 0 に垂直な膝部側リンク取付板1 0 Bに設けられた膝部正面リンク取付部J 3 2、膝部外側リンク取付部J 3 3および膝部内側リンク取付部J 3 4にそれぞれ取付けられる。膝部側リンク取付板1 0 Bは、中心側でつながった3 個の長方形が互いに1 2 0 度の角度を有する方向に伸びた形状である。膝部正面リンク取付部J 3 2 が設けられる長方形は、大腿部1 0 の正面側に存在する。

【 0 1 3 4 】

膝部正面リンク取付部J 3 2 は、2 個の円筒が十字型に接合した十字部材を使用して2 回転自由度で回転可能とする構造である。膝部側リンク取付板1 0 Bに、十字部材の一方の円筒を回転可能に保持するヨークが設けられる。大腿部正面リンク2 3 Lの一端には、十字部材の他方の円筒を回転可能に保持するヨークが設けられる。

30

膝部外側リンク取付部J 3 3、膝部内側リンク取付部J 3 4も、膝部正面リンク取付部J 3 2と同様な構造である。

【 0 1 3 5 】

股部C 7 は、第2 部材である大腿部1 0 を第1 部材である腰部6 に3 回転自由度で回転可能に接続する3 回転自由度接続機構である。股部C 7 は、関節部である股関節部2 2、3 本の可変長リンクである大腿部正面リンク2 3 L、大腿部外側リンク2 4 Lおよび大腿部内側リンク2 5 L、3 個の第1 部材側リンク取付部である股部正面リンク取付部J 1 1、股部外側リンク取付部J 1 2 および取付部J 1 3、3 個の第2 部材側リンク取付部である膝部正面リンク取付部J 3 2、膝部外側リンク取付部J 3 3 および膝部内側リンク取付部J 3 4 を有して構成される。

40

【 0 1 3 6 】

捻り軸である大腿骨部1 0 Aは、大腿部1 0 に対して方向が固定されている。大腿骨部1 0 Aは、腰部6 に対する角度が変更可能である。股部正面リンク取付部J 1 1、股部外側リンク取付部J 1 2 および取付部J 1 3 では、股関節部2 2 に対する相対的な位置関係は、下肢部接続フレーム6 2 により固定されている。膝部正面リンク取付部J 3 2、膝部外側リンク取付部J 3 3 および膝部内側リンク取付部J 3 4 でも、股関節部2 2 に対する相対的な位置関係は、大腿骨部1 0 Aおよび膝部側リンク取付板1 0 Bにより固定されている。

50

【 0 1 3 7 】

股関節部2 2 を動かすための可変長リンクの配置を説明する。図6 2 は、左の股部C 7 での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。3 個の第1 部材側リンク取付部J 1 1、J 1 2、J 1 3 と3 個の第2 部材側リンク取付部J 3 2、J 3 3、J 3 4 とをそれぞれ結ぶ3 本の可変長リンク2 3 L、2 4 L、2 5 L を、股部C 7 は有する。そのため、3 本の可変長リンク2 3 L、2 4 L、2 5 L の長さを変更することで、大腿部1 2 の腰部6 に対する接続角度を3 回転自由度で変更できる。股関節部2 2 のX 軸回りの回転角度を α_q 、Y 軸回りの回転角度を β_q 、Z 軸回りの回転角度を γ_q とする。

【 0 1 3 8 】

股部C 7 は、大腿部1 0 を前方に例えば9 0 度程度上げることができ、後方に例えば1 0 度上げることができる。左右方向には、内側に例えば1 0 度程度、外側に3 0 度程度、大腿部1 0 を動かすことができる。また、大腿骨部1 0 A の回りに、例えば、外側(股を開く向き) に2 0 度程度、内側に1 0 度の捻り回転ができる。

10

【 0 1 3 9 】

図6 3 は、左の股部C 7 での可変長リンクの配置を大腿骨部が延在する方向から見た図である。基準状態で、可変長リンク2 4 L、2 5 L と捻り軸1 0 A とはねじれの関係にある。可変長リンク2 3 L の第2 部材側リンク取付部J 3 2 と捻り軸1 0 A とを含むリンク基準面と可変長リンク2 3 L とがなす傾斜角度 θ_{q1} は、0 度である。可変長リンク2 4 L の傾斜角度 θ_{q2} は、約1 . 9 度である。可変長リンク2 5 L の傾斜角度 θ_{q3} は、約3 . 9 度である。3 本の可変長リンク2 3 L、2 4 L、2 5 L の傾斜角度の最大値 θ_{qmax} は、 δ 0 (例えば、3 度程度) 以上である。可変長リンク2 4 L、2 5 L の長さを変化させた場合に、捻り軸1 0 A の回りに回転するトルクが発生し、捻り軸1 0 A の回りを回転させることができる。

20

【 0 1 4 0 】

図6 4 は、左の股部C 7 の大腿部1 0 を左前方に上げた状態での可変長リンクの配置を大腿骨部1 0 A が延在する方向から見た図である。図6 4 は、左前方1 5 度の方向に大腿部1 0 を3 0 度上げた状態である。大腿部1 0 を上げると、図6 4 から分るように、下肢部接続フレーム6 2 が図における上下方向に長くなり、可変長リンク2 5 L の傾斜角度 θ_{q3} は、図6 3 の場合よりも大きくなっている。また、可変長リンク2 3 L の傾斜角度 θ_{q1} も、大きくなっている。大腿部1 0 を可動範囲内で動かす際に、すなわち股関節部2 2 の可動範囲内の各状態で、少なくとも1 本の可変長リンク2 3 L、2 4 L、2 5 L は捻り軸1 0 A とねじれの関係にある。また、股関節部2 2 の可動範囲内の各状態で、3 本の可変長リンク2 3 L、2 4 L、2 5 L の傾斜角度の最大値 θ_{qmax} は、 δ 0 (例えば、3 度程度) 以上である。

30

【 0 1 4 1 】

股関節部2 2 が大腿骨部1 0 A の回りに回転可能であることは、人型ロボット1 0 0 が方向を変えて歩く際に必要である。股関節部2 2 が大腿骨部1 0 A の回りに回転できない場合には、人型ロボット1 0 0 は正面を向いたまま斜め方向に歩くことになる。また、下肢部3 を動かして体全体の向きを変える際には、股関節部2 2 で開脚方向を変更できる必要がある。

40

【 0 1 4 2 】

図6 5 により、股関節部2 2 を動かす可変長リンクを正面側で高く裏面側で低く取付けることによる効果を説明する。図6 5 では、図を簡明にするため、可変長リンク2 3 L、2 4 L だけを示す。図6 5 では、左側にこの実施の形態1 のように股関節部2 2 を動かす可変長リンク2 3 L、2 4 L、2 5 L を正面側で高く裏面側で低く取付けた場合の側面図を示す。右側に、股関節部2 2 を動かす可変長リンク2 3 L、2 4 L、2 5 L をすべて同じ高さに取付けた場合の側面図を示す。直立した状態を実線で示し、大腿部を前に4 5 度および可動範囲の限界まで上げた状態を破線で示す。

【 0 1 4 3 】

股関節部2 2 を動かす可変長リンク2 3 L、2 4 L、2 5 L をすべて同じ高さに取付け

50

ると、正面側で高くした場合よりも股関節部22の前側の可動範囲が小さくなる。大腿部10および膝関節部40が前方に位置する方向に股関節部22を回転させると、可変長リンク23Lと下肢部接続フレーム62とが干渉するからである。正面側の可変長リンク23Lを高い位置にすると、可変長リンク23Lと下肢部接続フレーム62とが干渉しにくくなり、股関節部22を前側に大きく回転させることができ、大腿部10をより上まで上げることができる。

【0144】

すべて同じ高さに取付ける場合には、可動範囲が狭いにも関わらず、可動範囲の限界まで股関節部22を動かす際に、正面側を高く取付けた場合よりも、可変長リンク24Lを長くする必要がある。逆に、可変長リンク23Lは短くする必要がある。

10

【0145】

図53から図62を参照して、下腿部11を大腿部10に対して動かす膝部C8の構造を説明する。図56に示すように、膝関節部40は、板状の下腿部11を2個の膝部接続フレーム10Cが挟んで、回転軸を通した構造である。基準状態では、回転軸はX軸に平行である。2個の膝部接続フレーム10Cは、強度を高めるために正面側で連結板10Dにより連結している。連結板10Dは、膝関節部40が逆方向に曲がることを防止する機能も持つ。図58などに示すように、膝関節部40は、大腿部10の裏側に設けられた1本の膝部駆動アクチュエータ42が有する膝部駆動リンク42Lが長さを変えることにより、角度が変更される。下腿部11は、膝関節部40の近くで曲がり、足首関節部41から決められた距離の位置でも曲がった板状の部材である。下腿部11は、膝関節部40と足首関節部41とを結ぶ直線よりも前側に存在する。

20

【0146】

膝部駆動アクチュエータ42は、膝関節部40の側で動力源であるモータ42Mからの力がギヤで膝部駆動リンク42Lに伝えられる構造である。

【0147】

股関節部22に近い大腿骨部10Aの後側の位置に、膝部駆動リンク42Lの一端が1回転自由度で取付けられる膝部駆動リンク取付部J35が設けられる。膝部駆動リンク取付部J35は、大腿骨部10A側にヨークが設けられ、膝部駆動リンク42Lの一端に円柱状の軸部材が設けられた構造である。

【0148】

30

膝部駆動リンク42Lは、膝関節部40側では2個の補助具を使用して、大腿部10と下腿部11の両方に接続している。2個の補助具とは、大腿部側補助具43と下腿部側補助具44である。大腿部側補助具43は、一端が膝部駆動リンク42Lの一端に回転可能に取付けられる。大腿部側補助具43の一端と膝部駆動リンク42Lの一端が取付けられる箇所を、膝部駆動リンク補助具接続部J37と呼ぶ。大腿部側補助具43の他端は、大腿部10の後側に設けられた大腿部側補助具取付部J36に回転可能に取付けられる。下腿部側補助具44の一端も、膝部駆動リンク補助具接続部J37に回転可能に取付けられる。下腿部側補助具44の他端は、下腿部11の後側に設けられた下腿部側補助具取付部J38に回転可能に取付けられる。

【0149】

40

大腿骨部10Aの膝部側リンク取付板10Bよりも少し手前の位置から棒状の大腿部側補助具取付部10Dが後側に伸びる。大腿部側補助具取付部10Dの先端に、大腿部側補助具取付部J36が設けられる。大腿部側補助具取付部J36は、膝部側リンク取付板10Bの近くに存在する。大腿部側補助具43は、2個のフレームの側面を連結した形状である。大腿部側補助具取付部10Dの先端には貫通穴が設けられている。また、大腿部側補助具43の両端にも貫通穴が設けられている。大腿部側補助具取付部J36は、それぞれの貫通穴の位置が一致するように大腿部側補助具43が大腿部側補助具取付部10Dを挟み、それらの貫通穴を回転軸が通る構造である。

【0150】

大腿部側補助具43の反対側の端は、膝部駆動リンク補助具接続部J37で下腿部側補

50

助具44および膝部駆動リンク42Lと1回転自由で接続する。下腿部側補助具44は、2個のフレームの側面を連結した形状である。膝部駆動リンク補助具接続部J37では、大腿部側補助具43が膝部駆動リンク42Lを挟む。さらに、下腿部側補助具44が、大腿部側補助具43および膝部駆動リンク42Lを挟む。この挟んだ箇所には、下腿部側補助具44、大腿部側補助具43および膝部駆動リンク42Lに、それぞれ貫通穴が設けられる。それらの貫通穴を通る回転軸により、大腿部側補助具43、下腿部側補助具44および膝部駆動リンク42Lは互いに1回転自由度で回転可能である。

【0151】

下腿部11が膝関節部40の側で曲がる箇所の近くに、下腿部側補助具取付部J38が設けられる。下腿部側補助具取付部J38には、下腿部側補助具44の一端が1回転自由

10

【0152】

図66は、左の膝関節部40を動かす可変長リンクの配置を説明する斜視図である。膝関節部40、膝部駆動リンク取付部J35および大腿部側補助具取付部J36は、大腿部10に固定されており、互いの相対的な位置関係は固定である。下腿部側補助具取付部J38は、下腿部11に固定されている。下腿部側補助具取付部J38は、膝関節部40からの距離が決まっている。膝部駆動リンク補助具接続部J37は、大腿部側補助具取付部J36および下腿部側補助具取付部J38からの距離がそれぞれ決まっている。したがって、膝関節部40の回転角度が決まると、パンタグラフのように大腿部側補助具43と下腿部側補助具44が動き、膝部駆動リンク補助具接続部J37の位置が決まる。逆に、膝部駆動リンク補助具接続部J37の位置が決まると、膝関節部40の回転角度が決まる。

20

【0153】

膝部駆動リンク42Lの長さは、膝部駆動リンク取付部J35と膝部駆動リンク補助具接続部J37との間の距離になる。よって、膝部駆動リンク42Lの長さを変えることで、膝関節部40の回転角度を変えることができる。

【0154】

膝部C8は、膝関節部40、膝部駆動アクチュエータ42、大腿部10の後側に設けられた膝部駆動リンク取付部J35、大腿部側補助具43、大腿部10の後側に設けられた大腿部側補助具取付部J36、下腿部側補助具44、下腿部の後側に設けられた下腿部側補助具取付部J38を有して構成される。膝関節部40は、大腿部10と下腿部11を1回転自由度で接続する。膝部駆動アクチュエータ42は、長さを変更可能な膝部駆動リンク42Lとモータ42Mを有する。膝部駆動リンク取付部J35には、膝部駆動リンク42の一端が回転可能に取付けられる。大腿部側補助具43には、一端が膝部駆動リンク42Lの他端に回転可能に取付けられる。大腿部側補助具取付部J36には、大腿部側補助具43の他端が回転可能に取付けられる。下腿部側補助具44には、一端が膝部駆動リンク42Lの他端に回転可能に取付けられる。下腿部側補助具取付部J38には、下腿部側補助具44の他端が回転可能に取付けられる。

30

【0155】

膝部C8は、股関節部22、膝関節部40および足首関節部41が同一直線上に配置される状態から、大腿部10と下腿部11の間の角度が例えば40度程度まで曲げることができる。

40

【0156】

大腿部側補助具43および下腿部側補助具44を有するので、膝部駆動リンク42Lの伸縮による力をパンタグラフのようにして大腿部側補助具取付部J36および下腿部側補助具取付部J38に伝えることができる。そのため、大腿部10と下腿部11とが平行に近くなるほどに膝関節部40を大きく曲げた場合に、膝関節部40を回転させる力を伝えやすくなる。その結果、膝部駆動アクチュエータ42が発生する力が小さくても、膝関節部40の屈伸運動をよりスムーズにできるようになる。

50

【 0 1 5 7 】

図5 3 から図5 6、図6 7 から図7 0を参照して、足部1 2を下腿部1 1に対して動かす足首部C 9の構造を説明する。図6 7、図6 8、図6 9および図7 0は、下腿部1 1から下の部分の正面図、左側面図、背面図および斜視図である。

【 0 1 5 8 】

足首関節部4 1は、足部1 2を下腿部1 1に対して前後および左右の2回転自由度で接続する2軸ジンバルである。下腿部1 1の下端には、下腿部1 1が前後方向に回転できるように左右方向の円柱状の部分が設けられている。下腿部1 1のこの円柱状の部分を前後回転ヨーク4 1 Aが挟んで回転可能に保持し、下腿部1 1が前後回転ヨーク4 1 Aに対して前後方向に回転できる。前後回転ヨーク4 1 Aの前後方向の面には円柱状の部分(軸部材)が設けられている。足部1 0に設けられた左右回転ヨーク4 1 Bが、前後回転ヨーク4 1 Aの軸部材を前後から挟んで回転可能に保持し、下腿部1 1および前後回転ヨーク4 1 Aが足部1 2に対して左右方向に回転できる。

10

【 0 1 5 9 】

足部1 2は、下腿部外側アクチュエータ4 5および下腿部内側アクチュエータ4 6により、足首関節部4 1の回りを前後および左右の2回転自由度で回転できる。板状の下腿部1 1の左右の面に、下腿部外側リンク4 5 L、下腿部内側リンク4 6 Lの一端を2回転自由度で取付ける下腿部外側リンク取付部J 3 9、下腿部内側リンク取付部J 4 0が設けられる。下腿部外側リンク取付部J 3 9は、回転部材、ヨーク、軸部材が下腿部1 1側に設けられており、下腿部外側リンク4 5 Lの一端に設けられた円筒の中に軸部材が入る構造である。下腿部内側リンク取付部J 4 0も同様な構造である。

20

【 0 1 6 0 】

下腿部外側アクチュエータ4 5は、足部1 2の側でモータ4 5 Mからの力がギヤで下腿部外側リンク4 5 Lに伝えられる構造である。下腿部内側アクチュエータ4 6も、同様な構造である。

【 0 1 6 1 】

足部1 2の後部の左右の位置に、下腿部外側リンク4 5 L、下腿部内側リンク4 6 Lのもう一端をそれぞれ2回転自由度で取付ける足部外側リンク取付部J 4 1、足部内側リンク取付部J 4 2が設けられる。足部外側リンク取付部J 4 1、足部内側リンク取付部J 4 2は、下腿部外側リンク取付部J 3 9、下腿部内側リンク取付部J 4 0と同様な構造の2軸ジンバルである。

30

【 0 1 6 2 】

足部外側リンク取付部J 4 1と足部内側リンク取付部J 4 2の間隔は、下腿部外側リンク取付部J 3 9と下腿部内側リンク取付部J 4 0の間隔よりも大きい。そうすることで、足首関節部4 1を左右方向に回転させやすくなる。

【 0 1 6 3 】

足部1 2は、足首関節部4 1、足本体部1 2 Aと、足本体部1 2 Aの前側に設けられたつま先部1 2 Bとを有する。足本体部1 2 Aには、足部外側リンク取付部J 4 1および足部内側リンク取付部J 4 2が設けられる。足本体部1 2 Aとつま先部1 2 Bとは、つま先関節部1 2 Cによりつま先部1 2 Bの足本体部1 2 Aに対する上下方向の角度を変更できる。つま先部1 2 Bと足本体部1 2 Aとの間には図示しないバネが設けられており、つま先部1 2 Bを曲げる力が加えられるとつま先部1 2 Bが力に応じて適度に曲がる。

40

【 0 1 6 4 】

足本体部1 2 Aの後端の中央に、かかと車輪部1 2 Dが設けられる。かかと車輪部1 2 Dは、適度な回転摩擦を有する車輪である。かかと車輪部1 2 Dが有することで、人型ロボット1 0 0が歩く際に、足部1 2の後側の角(かかと)がなめらかに着地できる。また、かかとの着地を回転しながら知らせるタッチセンサーの役目を、かかと車輪部1 2 Dは有する。つま先関節部1 2 C付近の足部1 2の側面には、適度な回転摩擦を有する足側面車輪部1 2 Eが設けられる。足側面車輪部1 2 Eは、かかとだけでなく足部1 2の全体が着地したことを知らせるタッチセンサーの役目を有する。足側面車輪部1 2 Eにより、移動

50

する際につま先部1 2 Bが床または地面と接触していることを回転しながら検出し、その後、離間したことを検出することができる。

【0165】

図7 1は、左の足首関節部4 1を動かす可変長リンクの配置を説明する斜視図である。足首関節部4 1、足部外側リンク取付部J 4 1および足部内側リンク取付部J 4 2は足本体部1 2 Aに固定されており、互いの相対的な位置関係は固定である。下腿部外側リンク取付部J 3 9および下腿部内側リンク取付部J 4 0は、下腿部1 1に固定されている。足首関節部4 1、下腿部外側リンク取付部J 3 9および下腿部内側リンク取付部J 4 0は、互いの相対的な位置関係は固定である。下腿部外側リンク4 5 Lと下腿部内側リンク4 6 Lは、長さを変更可能な可変長リンクである。下腿部外側リンク4 5 Lは、下腿部外側リンク取付部J 3 9と足部外側リンク取付部J 4 1とを結ぶ。下腿部内側リンク4 6 Lは、下腿部内側リンク取付部J 4 0と足部内側リンク取付部J 4 2とを結ぶ。下腿部外側リンク4 5 Lおよび下腿部内側リンク4 6 Lの長さを変更すると、下腿部4 1の足本体部1 2 Aに対する接続角度を、X軸回りおよびY軸回りに変更することができる。足首関節部4 1のX軸回りの回転角度を α_m Y軸回りの回転角度を β_m とする。

10

【0166】

足首部C 9は、足首関節部4 1、下腿部外側アクチュエータ4 5および下腿部内側アクチュエータ4 6を有する。足首関節部4 1は、下腿部1 1の下部と足部1 2を少なくとも2回転自由度を有して接続する。下腿部外側アクチュエータ4 5および下腿部内側アクチュエータ4 6は、下腿部外側リンク4 5 Lおよび下腿部内側リンク4 6 Lと、モータ4 5 Mおよびモータ4 6 Mをそれぞれ有する2本の足首部アクチュエータである。足首部C 9は、さらに、下腿部外側リンク取付部J 3 9および下腿部内側リンク取付部J 4 0、足部外側リンク取付部J 4 1および足部内側リンク取付部J 4 2を有する。下腿部外側リンク取付部J 3 9および下腿部内側リンク取付部J 4 0は、下腿部外側リンク4 5 Lおよび下腿部内側リンク4 6 Lの一端がそれぞれ回転可能に取付けられる下腿部1 1に設けられた2個の下腿部側リンク取付部である。足部外側リンク取付部J 4 1および足部内側リンク取付部J 4 2は、下腿部外側リンク4 5 Lおよび下腿部内側リンク4 6 Lの一端がそれぞれ回転可能に取付けられる2個の足部側リンク取付部である。足部外側リンク取付部J 4 1および足部内側リンク取付部J 4 2は、足首関節部4 1よりも後の位置で足本体部1 2 Aに設けられる。

20

30

【0167】

足首部C 9は、足首関節部4 1を、足首関節部4 1と膝関節部4 0を結ぶ直線が足部1 2に対して例えば前方60度程度から後方30度程度の角度をなす範囲で回転させることができ、左右方向には例えば15度程度傾けることができる。

【0168】

下腿部外側リンク4 5 Lおよび下腿部内側リンク4 6 Lを両方とも長くすると、下腿部4 1を前に傾けることができる。下腿部外側リンク4 5 Lおよび下腿部内側リンク4 6 Lを両方とも短くすると、下腿部4 1を後に傾けることができる。下腿部外側リンク4 5 Lを長くし、下腿部内側リンク4 6 L短くすると、下腿部4 1を内側に傾けることができる。下腿部外側リンク4 5 Lを短くし、下腿部内側リンク4 6 L長くすると、下腿部4 1を外側に傾けることができる。

40

【0169】

図7 2から図7 9を参照して、手部9の構造を説明する。図7 2は、左の手部9を手の平側から見た斜視図である。図7 3は、左の手部9を手の甲側から見た斜視図である。図7 4、図7 5、図7 6、および図7 7は、左の手部9の正面図、対向可能指部9 7が存在する側から見た側面図、裏面図、および対向可能指部9 7が存在しない側から見た側面図である。図7 8は、左の手部9を指先側から見た図である。図7 9は、左の手部9の第2指部9 4を断面で表示した図である。

【0170】

手首板部9 1に掌板部9 2を取付ける手部取付部9 8は、図7 4および図7 9から分る

50

ように、取付板部9 8 Aと掌板接続部9 8 Bとが、横から見るとL字状に接続した部材である。取付板部9 8 Aは、手首板部9 1に接続する。掌板接続部9 8 Bには、掌板部9 2が接続される。取付板部9 8 Aと向き合う掌板部9 2の辺に、第1指部9 3、第2指部9 4、第3指部9 5および第4指部9 6が接続する。基準状態では、第1指部9 3、第2指部9 4、第3指部9 5および第4指部9 6は、掌板部9 2と略平行な方向に延在する。第2指部9 4が手首板部9 1のほぼ中央に位置する。第1指部9 3、第2指部9 4、第3指部9 5、第4指部9 6は、根元側よりも先端側の間隔が広くなるように設けられる。図76から分るように、第2指部9 4は取付板部9 8 Aに対して垂直で、第2指部9 4の中心と取付板部9 8 Aの中心は一致している。

【0171】

10

対向可能指部9 7は、第1指部9 3などにほぼ直交する方向に回転可能に、第1指部9 3などよりも取付板部9 8 Aに近い側かつ第1指部9 3側の掌板部9 2に設けられる。掌板部9 2は、指部が接続する基部である。手部9の基準状態では、掌板部9 2に垂直な方向から見ると、対向可能指部9 7は掌板部9 2と並んで延在する。

【0172】

第1指部9 3、第2指部9 4、第3指部9 5および第4指部9 6は、同様な構造である。第1指部9 3、第2指部9 4、第3指部9 5、第4指部9 6を普通指部と呼ぶ。図において符合が付けやすい第4指部9 6で、普通指部の構造を説明する。

【0173】

第4指部9 6は、掌板部9 2に近い側から第1指節部9 6 A、第2指節部9 6 Bおよび第3指節部9 6 Cが直列に接続する。掌板部9 2と第1指節部9 6 Aの間には、第1指関節部9 6 Dが存在する。第1指関節部9 6 Dは、第1指節部9 6 Aを掌板部9 2に回転可能に接続する。第1指節部9 6 Aと第2指節部9 6 Bの間には、第2指関節部9 6 Eが存在する。第2指関節部9 6 Eは、第2指節部9 6 Bを第1指節部9 6 Aに回転可能に接続する。第2指節部9 6 Bと第3指節部9 6 Cの間には、第3指関節部9 6 Fが存在する。第3指関節部9 6 Fは、第3指節部9 6 Cを第2指節部9 6 Bに回転可能に接続する。第1指関節部9 6 D、第2指関節部9 6 Eおよび第3指関節部9 6 Fの回転軸は、互いに平行である。

20

【0174】

掌板部9 2、第1指節部9 6 A、第2指節部9 6 Bおよび第3指節部9 6 Cの中の隣接する2個に関して、掌板部9 2に近い側を基部側部材、基部側部材でない側を先端側部材と呼ぶ。第1指関節部9 6 D、第2指関節部9 6 E、第3指関節部9 6 Fは、第1指節部9 6 A、第2指節部9 6 B、第3指節部9 6 Cの何れかである先端側部材を基部側部材に回転可能に接続する3個の指関節部である。

30

【0175】

基準状態では、第1指関節部9 6 Dは、掌板部9 2の裏面側に存在する。図47に示すように、基準状態での手部9を側面から見ると、第1指関節部9 6 D、第2指関節部9 6 E、第3指関節部9 6 Fの回転軸は、取付板部9 8 Aにほぼ垂直な1個の平面上にある。この平面上または近くを、基準状態で前腕部8を手部9の側に延長した線が通る。基準状態では、取付板部9 8 Aに対して前腕部7が垂直である。

40

【0176】

第1指関節部9 6 Dの回転軸は、掌板部9 2の裏面側に設けられた指元ヨーク9 6 Gに保持される。第1指関節部9 6 Dの回転軸は、掌板部9 2から少し外側に出た決められた位置に配置される。指元ヨーク9 6 Gの間には、指部第1モータ9 6 Hが配置される。第1指部モータ9 6 Hの回転軸に直結した第1ウォーム9 6 J(ねじ歯車)が、第1指関節部9 6 Dの回転軸の回りを回転する第1ウォームホイール9 6 K(斜歯歯車)とかみ合う。第1ウォーム9 6 Jは、掌板部9 2側で第1ウォームホイール9 6 Kとかみ合う。指部第1モータ9 6 Hおよび第1ウォーム9 6 Jは、掌板部9 2に対して傾斜して設けられる。第1ウォームホイール9 6 Kは第1指節部9 6 Aに取付けられている。第1指部モータ9 6 Hが回転すると、第1ウォーム9 6 Jが回転し、第1ウォームホイール9 6 Kが第1指節

50

部9 6 Aと共に回転する。

【 0 1 7 7 】

第1 指関節部9 6 Dは、掌板部9 2に配置され指部第1 モータ9 6 H、指部第1 モータ9 6 Hにより回転する第1 ウォーム9 6 J、第1 ウォーム9 6 Jとかみ合い第1 指節部9 6 Aと共に第1 指関節部9 6 Dの回転軸の回りを回転する第1 ウォームホイール9 6 Kを有するウォームギヤ機構により第1 指節部9 6 Aを掌板部9 2に対して回転させる。

【 0 1 7 8 】

第1 指節部9 6 Aは、第1 ウォームホイール9 6 Kと共に回転する部材と、第2 指関節部9 6 Eの回転軸を保持するヨーク部材とが指先に向かう方向で結合した構造である。第1 指節部9 6 Aに、指部第2 モータ9 6 Lが取付けられる。指部第2 モータ9 6 Lの回転軸に直結した第2 ウォーム9 6 Mが、第2 指関節部9 6 Eの回転軸の回りを回転する第2 ウォームホイール9 6 Nとかみ合う。指部第2 モータ9 6 Lおよび第2 ウォーム9 6 Mは、第1 指節部9 6 Aに対して傾斜して設けられる。第2 ウォームホイール9 6 Nは第2 指節部9 6 Bに取付けられている。指部第2 モータ9 6 Lが回転すると、第2 ウォーム9 6 Mが回転し、第2 ウォームホイール9 6 Nが第2 指節部9 6 Bと共に回転する。

10

【 0 1 7 9 】

第2 指関節部9 6 Eは、第1 指節部9 6 Aに配置され指部第2 モータ9 6 L、指部第2 モータ9 6 Lにより回転する第2 ウォーム9 6 M、第2 ウォーム9 6 Mとかみ合い第2 指節部9 6 Bと共に第2 指関節部9 6 Eの回転軸の回りを回転する第2 ウォームホイール9 6 Nを有するウォームギヤ機構により第2 指節部9 6 Bを第1 指節部9 6 Aに対して回転させる。

20

【 0 1 8 0 】

第1 指関節部9 6 Dと第2 指関節部9 6 Eは、それぞれ別のモータにより駆動されるので、第1 指関節部9 6 Dの回転角度と第2 指関節部9 6 Eの回転角度は独立に決めることができる。

【 0 1 8 1 】

基準状態において、第1 指関節部9 6 Dが第1 指節部9 6 Aを回転させる方向、第2 指関節部9 6 Eが第2 指節部9 6 Bを回転させる方向、第3 指関節部9 6 Fが第3 指節部9 6 Cを回転させる方向は、すべて手の平側に向かう方向である。

【 0 1 8 2 】

指部第1 モータ9 6 Hおよび第1 ウォーム9 6 Jを掌板部9 2に対して傾斜して設けることで、掌板部9 2を小さくすることができる。指部第2 モータ9 6 Lおよび第2 ウォーム9 6 Mを第1 指節部9 6 Aに対して傾斜して設けることで、第1 指節部9 6 Aを短くすることができる。その結果、手部9を人の手と同程度の大きさにできる。

30

【 0 1 8 3 】

図7 9を参照して、第3 指関節部9 4 Fを回転させる機構を説明する。第3 指関節部9 4 Fには、第3 指節駆動歯車9 4 Pが設けられる。第3 指節駆動歯車9 4 Pは、第3 指節部9 4 Cと共に回転する。第2 指節部9 4 Bには、3 個のアイドラギヤ9 4 Q、9 4 R、9 4 Sが設けられる。3 個のアイドラギヤ9 4 Q、9 4 R、9 4 Sは、第2 ウォームホイール9 4 Nの回転を第3 指節駆動歯車9 4 Pに伝える。アイドラギヤ9 4 Qは第2 ウォームホイール9 4 Nとかみ合い、第2 ウォームホイール9 4 Nが回転すると、反対方向に回転する。アイドラギヤ9 4 Rはアイドラギヤ9 4 Qとかみ合い、アイドラギヤ9 4 Qが回転すると、反対方向に回転する。アイドラギヤ9 4 Sはアイドラギヤ9 4 Rとかみ合い、アイドラギヤ9 4 Rが回転すると、反対方向に回転する。第3 指節駆動歯車9 4 Pはアイドラギヤ9 4 Sとかみ合い、アイドラギヤ9 4 Sが回転すると、反対方向に回転する。アイドラギヤ9 4 Q、9 4 R、9 4 Sが3 個と奇数個なので、第2 ウォームホイール9 4 Nが回転すると、第3 指節駆動歯車9 4 Pが同じ方向に回転する。

40

【 0 1 8 4 】

アイドラギヤ9 4 Q、9 4 R、9 4 Sは、第2 指関節部9 4 Bが有する第2 ウォームホイール9 4 Nにより駆動される奇数個の回転軸で回転する歯車である。第3 指節駆動歯車

50

9 4 P は、アイドラギヤ9 4 Q、9 4 R、9 4 S により駆動される第3 指関節部9 4 F に設けられた歯車である。第2 ウォームホイール9 4 N は、第2 指関節部9 4 B の回転と連動して回転する歯車である。

【0185】

第2 ウォームホイール9 4 N、アイドラギヤ9 4 Q、9 4 R、9 4 S、第3 指節駆動歯車9 4 P のギヤ比は、第2 ウォームホイール9 4 N の回転角度 $\phi 2$ と第3 指節駆動歯車9 4 P の回転角度 $\phi 3$ が同じになるように決めている。つまり、 $\phi 3$ の $\phi 2$ に対する比の値 $f = \phi 3 / \phi 2$ を、 $f = 1$ としている。第2 ウォームホイール9 4 N すなわち第2 指節部9 4 B の回転角度 $\phi 2$ に対する第3 指節駆動歯車9 4 P すなわち第3 指節部9 4 C の回転角度 $\phi 3$ の比の値 $f = \phi 3 / \phi 2$ は、1 に近い適切な値であればよい。

10

【0186】

第3 指関節部を第2 指関節部に連動させて回転させることで、1 本の指部あたり2 個のモータで3 個の指関節部を回転させることができる。第2 関節部を曲げないで第3 関節部だけを曲げるような動作をする必要がある場合はほとんどないので、手部9 を使用する上で問題にはならない。なお、第3 関節部も、第1 関節部および第2 関節部と同様にウォームギヤ機構で回転させるようにしてもよい。ある指では第3 関節部を第2 指関節部に連動させて回転させ、別の指では第3 関節部をウォームギヤ機構で回転させるようにしてもよい。

【0187】

対向可能指部9 7 の構造を説明する。図7 6 に示すように、対向可能指部9 7 の第1 指関節部9 7 D の回転軸を保持する指元ヨーク9 7 G は、第2 指部9 4 とほぼ直交する方向で掌板部9 2 の裏面側の取付板部9 8 A に近い位置に設けられる。指元ヨーク9 7 G の間には、指部第1 モータ9 7 H が配置される。第1 指部モータ9 7 H の回転軸に直結した第1 ウォーム9 7 J が、第1 指関節部9 7 D の回転軸の回りを回転する第1 ウォームホイール9 7 K とかみ合う。第1 ウォームホイール9 7 K は第2 指節部9 7 B に取付けられている。第1 指部モータ9 7 H が回転すると、第1 ウォームホイール9 7 K が第1 指節部9 7 A と共に回転する。第1 指節部9 7 A が回転すると、第1 指部9 3 などと対向する位置に第2 指節部9 7 B および第3 指節部9 7 C が移動する。

20

【0188】

対向可能指部9 7 の第1 指節部9 7 A は、第1 ウォームホイール9 7 K が回転することで第1 指節部9 7 A と共に回転する第1 指節元部9 7 T、第1 指節元部9 7 T の回転方向と約70度の角度を有する方向を向いた第1 指節先部9 7 U とを有する。なお、第1 指節先部9 7 U が向く方向は、第1 指節部9 3 A などが向く方向と略平行である。第1 指節元部9 7 T の第1 指関節部9 7 D に接続する側とは反対側の端は平板状になっている。第1 指節元部9 7 T の平板状の部分に、第1 指節先部9 7 U が結合する。第1 指節先部9 7 U には、指部第2 モータ9 7 H が配置され、第2 指関節部9 3 E の回転軸を保持するヨーク部材が設けられる。

30

【0189】

対向可能指部9 7 では、第1 指関節部9 7 D が第1 指節部9 7 A を回転させる方向が、第2 指関節部9 7 E が第2 指節部9 7 B を回転させる方向とは異なる。対向可能指部9 7 の第2 指関節部9 7 E から指先側の構造は、第1 指部9 3 などと同様である。

40

【0190】

手部9 では、指関節部を駆動するためのすべての機構が手部9 の内部に設けられている。そのため、手部9 だけを取り外してメンテナンスや故障の修理などができる。

【0191】

動作を説明する。人型ロボット100の姿勢は、胸部内関節部16、胸腰部関節部18、肩関節部13、肘関節部31、手首関節部36、股関節部22、膝関節部40、足首関節部41、首関節部27がとる角度により決まる。これらの関節部の角度は、その関節部を駆動するリンクの長さにより決まる。人型ロボット100の各関節部を駆動するリンクを、指定された姿勢をとることができる各関節部の角度である指定角度から決まる値にな

50

るようにすることで、人型ロボット100が指定された姿勢をとることができる。人型ロボット100が動く場合も、姿勢の変化に対応する指定角度の時系列をリンクの長さの時系列に変換して、リンクの長さを決められた時系列に応じて変化させることで、指定されたように人型ロボット100を動かすことができる。

【0192】

各関節部について、その関節部が指定角度をとることができるようなリンクの長さの決め方を説明する。なお、指定角度は、その関節部の可動範囲内であることが必要である。まず、胸部内関節部16と胸腰部関節部18について説明する。なお、胸腰部関節部18は、胸下部5Dの腰部6に対する接続方向を変更する。胸部内関節部16は、胸上部5Uの胸下部5Dに対する接続方向を変更する。

10

【0193】

胸部内関節部16と胸腰部関節部18での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により表現する。図80は、胸部内関節部と胸腰部関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

【0194】

まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。

P_{0s} : 胸腰部関節部18の位置。

P_{1s} : 腰側中央リンク取付部J10の位置。

P_{2s} : 腰側右リンク取付部J8の位置。

P_{3s} : 腰側左リンク取付部J9の位置。

20

P_{4s} : 胸側中央リンク取付部J5の位置。

P_{4s0} : 胸側中央リンク取付部J5の基準状態での位置。

P_{5s} : 胸側右リンク取付部J6の位置。

P_{5s0} : 胸側右リンク取付部J6の基準状態での位置。

P_{6s} : 胸側左リンク取付部J7の位置。

P_{6s0} : 胸側左リンク取付部J7の基準状態での位置。

P_{0As} : 胸腰部関節部18の位置を3点 P_{4s} 、 P_{5s} 、 P_{6s} で決まる平面に投影した位置。

P_{7s} : 胸部内関節部16の位置。

P_{7s0} : 胸部内関節部16の基準状態での位置。

30

P_{8s} : 下側胸部内リンク取付部J3の位置。

P_{8s0} : 下側胸部内リンク取付部J3の基準状態での位置。

P_{9s} : 上側胸部内リンク取付部J4の位置。

P_{9s0} : 上側胸部内リンク取付部J4の基準状態での位置。

【0195】

各点の間隔を、以下の変数で表現する。

$Ws1$: 線分 $P_{0s}P_{1s}$ 、線分 $P_{0s}P_{2s}$ のX軸に投影した長さ。

$Ds1$: 線分 $P_{0s}P_{1s}$ のY軸に投影した長さ。

$Ds2$: 線分 $P_{0s}P_{2s}$ 、線分 $P_{0s}P_{3s}$ のY軸に投影した長さ。

$Ws2$: 線分 $P_{0As}P_{5s0}$ 、線分 $P_{0As}P_{6s0}$ のX軸に投影した長さ。

40

$Ds3$: 線分 $P_{0As}P_{4s0}$ のY軸に投影した長さ。

$Ds4$: 線分 $P_{0As}P_{5s0}$ 、線分 $P_{0As}P_{6s0}$ のY軸に投影した長さ。

$Ds5$: 線分 $P_{7s0}P_{8s0}$ 、線分 $P_{7s0}P_{9s0}$ のY軸に投影した長さ。

$Hs1$: 線分 $P_{0s}P_{7s}$ の長さ。3点 P_{4s} 、 P_{5s} 、 P_{6s} で決まる平面と点 P_{0s} の距離。

$Hs2$: 線分 $P_{0s}P_{1s}$ 、線分 $P_{0s}P_{2s}$ 、線分 $P_{0s}P_{3s}$ のZ軸に投影した長さ。

$Hs3$: 線分 $P_{7s0}P_{8s0}$ のZ軸に投影した長さ。

$Hs4$: 線分 $P_{7s0}P_{9s0}$ のZ軸に投影した長さ。

【0196】

上で定義した変数を使用することにより、各点の座標は以下のように表される。ここで、胸腰部関節部18の位置 P_{0s} を、座標の原点とする。

50

$$\begin{aligned}
P_{0s} &= (0, 0, 0) \\
P_{1s} &= (0, D_{s1}, -H_{s2}) \\
P_{2s} &= (W_{s1}, D_{s2}, -H_{s2}) \\
P_{3s} &= (-W_{s1}, D_{s2}, -H_{s2}) \\
P_{4s0} &= (0, D_{s3}, H_{s1}) \\
P_{5s0} &= (W_{s2}, -D_{s4}, H_{s1}) \\
P_{6s0} &= (-W_{s2}, -D_{s4}, H_{s1}) \\
P_{7s0} &= (0, 0, H_{s1}) \\
P_{8s0} &= (0, -D_{s5}, H_{s1} - H_{s3}) \\
P_{9s0} &= (0, -D_{s5}, H_{s1} + H_{s3})
\end{aligned}$$

10

【 0 1 9 7 】

胸腰部関節部1 8 および胸部内関節部1 6 の回転角度を、以下の変数で表現する。

α_s : 胸腰部関節部1 8 のX 軸回りの回転角。基準状態で $\alpha_s = 0$

β_s : 胸腰部関節部1 8 のY 軸回りの回転角。基準状態で $\beta_s = 0$

γ_s : 胸腰部関節部1 8 のZ 軸回りの回転角。基準状態で $\gamma_s = 0$

[R s] : 胸腰部関節部1 8 の回転行列。

ϕ : 胸部内関節部1 6 のX 軸回りの回転角。基準状態で $\phi = 0$

[R s2] : 胸部内関節部1 6 の回転行列。

【 0 1 9 8 】

胸腰部関節部1 8 の回転行列[R s]は、以下のようになる。

20

【 0 1 9 9 】

【 数1 】

$$[Rs] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_s & -\sin \alpha_s \\ 0 & \sin \alpha_s & \cos \alpha_s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \beta_s & 0 & -\sin \beta_s \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta_s & 0 & \cos \beta_s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \gamma_s & -\sin \gamma_s & 0 \\ \sin \gamma_s & \cos \gamma_s & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

【 0 2 0 0 】

胸部内関節部1 6 の回転行列[R s2]は、以下のようになる。

【 0 2 0 1 】

30

【 数2 】

$$[Rs2] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & -\sin \psi \\ 0 & \sin \psi & \cos \psi \end{pmatrix}$$

【 0 2 0 2 】

胸下部5 D に存在する任意の点 P_D の基準状態での位置を点 P_{D0} とすると、胸腰部関節部1 8 での回転後の点 P_D の位置は、以下のように表現できる。

$$P_D = [R s] * P_{D0}$$

40

【 0 2 0 3 】

胸上部5 U に存在する任意の点 P_U の基準状態での位置を点 P_{U0} とすると、胸部内関節部1 6 および胸腰部関節部1 8 での回転後の点 P_U の位置は、以下のように表現できる。

$$P_U = [R s] * ([R s2] * (P_{U0} - P_{7s0}) + P_{7s0})$$

【 0 2 0 4 】

リンクの長さを、以下の変数で表現する。

L_{1s} : 胸腰部中央リンク1 9 L の長さ。線分 $P_{1s}P_{4s}$ の長さ。

L_{2s} : 胸腰部右リンク2 0 L の長さ。線分 $P_{2s}P_{4s}$ の長さ。

L_{3s} : 胸腰部左リンク2 1 L の長さ。線分 $P_{3s}P_{6s}$ の長さ。

L_{1s0} : 基準状態での胸腰部中央リンク1 9 L の長さ。線分 $P_{1s}P_{4s0}$ の長さ。

50

L_{2s0} : 基準状態での胸腰部右リンク20Lの長さ。線分 $P_{2s}P_{5s0}$ の長さ。

L_{3s0} : 基準状態での胸腰部左リンク21Lの長さ。線分 $P_{3s}P_{6s0}$ の長さ。

L_{4s} : 胸部内リンク17Lの長さ。線分 $P_{8s}P_{9s}$ の長さ。

【0205】

まず、基準状態で、胸部内関節部16を指定された角度 ϕ にするための胸部内リンク17Lの長さ L_{4s} の求め方を説明する。胸上部5Uに存在する上側胸部内リンク取付部J4の位置 P_{9s} は、以下のようになる。

$$\begin{aligned} P_{9s} &= (x_{9s}, y_{9s}, z_{9s}) \\ &= [R_{2s}]^* (0, -D_{s5}, H_{s4})^t + (0, 0, H_{s1}) \end{aligned}$$

変数ごとに表現すると、以下となる。

$$\begin{aligned} x_{9s} &= 0 \\ y_{9s} &= -D_{s5} \cos \phi - H_{s4} \sin \phi \\ z_{9s} &= -D_{s5} \sin \phi + H_{s4} \cos \phi + H_{s1} \end{aligned}$$

10

【0206】

胸下部5Dに存在する下側胸部内リンク取付部J3の位置 P_{8s} は、胸部内関節部16での回転では変化しない。そのため、位置 P_{8s} は、基準状態での位置 P_{8s0} である。胸部内リンク17Lの長さ L_{4s} は、以下で計算できる。

$$\begin{aligned} L_{4s} &= \sqrt{((D_{s5}(1 - \cos \phi) - H_{s4} \sin \phi)^2 \\ &\quad + (-D_{s5} \sin \phi + H_{s4} \cos \phi + H_{s3})^2)} \end{aligned}$$

【0207】

20

胸下部5Dに存在する3点の位置 P_{4s} 、 P_{5s} 、 P_{8s} は、胸腰部関節部18での回転により、以下のようになる。

$$\begin{aligned} P_{4s} &= (x_{4s}, y_{4s}, z_{4s}) \\ &= [R_{1s}]^* P_{4s0} = [R_{1s}]^* (0, D_{s3}, H_{s1})^t \\ P_{5s} &= (x_{5s}, y_{5s}, z_{5s}) \\ &= [R_{1s}]^* P_{5s0} = [R_{1s}]^* (W_{s2}, -D_{s4}, H_{s1})^t \\ P_{6s} &= (x_{6s}, y_{6s}, z_{6s}) \\ &= [R_{1s}]^* P_{6s0} = [R_{1s}]^* (-W_{s2}, -D_{s4}, H_{s1})^t \end{aligned}$$

【0208】

P_{4s} 、 P_{5s} 、 P_{6s} が求められたので、リンクの長さ L_{1s} 、 L_{2s} 、 L_{3s} は以下の式で計算できる。

30

$$\begin{aligned} L_{1s} &= \sqrt{(x_{4s}^2 + (y_{4s} - D_{s1})^2 + (z_{4s} + H_{s2})^2)} \\ L_{2s} &= \sqrt{((x_{5s} - W_{s1})^2 + (y_{5s} - D_{s2})^2 + (z_{5s} + H_{s2})^2)} \\ L_{3s} &= \sqrt{((x_{6s} + W_{s1})^2 + (y_{6s} - D_{s2})^2 + (z_{5s} + H_{s2})^2)} \\ L_{1s0} &= \sqrt{((D_{s3} - D_{s1})^2 + (H_{s1} + H_{s2})^2)} \\ L_{2s0} &= \sqrt{((W_{s2} - W_{s1})^2 + (D_{s2} + D_{s4})^2 + (H_{s1} + H_{s2})^2)} \\ L_{3s0} &= \sqrt{((W_{s2} - W_{s1})^2 + (D_{s2} + D_{s4})^2 + (H_{s1} + H_{s2})^2)} \end{aligned}$$

【0209】

基準状態からZ軸回りに微小に回転させた場合に、各リンクの長さがどのように変化するかを考察する。 P_{4s} 、 P_{5s} 、 P_{6s} は以下のようになる。ここで、 γ_s が微小として、 $\sin \gamma_s \doteq \gamma_s$ 、 $\cos \gamma_s \doteq 1$ で近似する。

40

$$\begin{aligned} P_{4s} &= (x_{4s}, y_{4s}, z_{4s}) \\ &= (-D_{s3} \sin \gamma_s, D_{s3} \cos \gamma_s, H_{s1}) \\ &\doteq (-D_{s3} \gamma_s, D_{s3}, H_{s1}) \\ P_{5s} &= (x_{5s}, y_{5s}, z_{5s}) \\ &= (W_{s2} \cos \gamma_s + D_{s4} \sin \gamma_s, \\ &\quad W_{s2} \sin \gamma_s - D_{s4} \cos \gamma_s, H_{s1}) \\ &\doteq (W_{s2} + D_{s4} \gamma_s, W_{s2} \gamma_s - D_{s3}, H_{s1}) \\ P_{6s} &= (x_{6s}, y_{6s}, z_{6s}) \\ &= (-W_{s2} \cos \gamma_s + D_{s4} \sin \gamma_s, \end{aligned}$$

50

$$\begin{aligned} & -Ws2^* \sin \gamma s - Ds4^* \cos \gamma s, Hs1) \\ & \equiv (-Ws2 - Ds4^* \gamma s, -Ws2^* \gamma s - Ds4, Hs1) \end{aligned}$$

【 0 2 1 0 】

リンクの長さを計算すると、以下のようになる。

$$\begin{aligned} L_{1s} &= \sqrt{((Ds3^* \gamma s)^2 + (Ds3 - Ds1)^2 + (Hs1 + Hs2)^2)} \\ L_{2s} &= \sqrt{((Ws2 - Ws1 - Ds4^* \gamma s)^2 + (Ds2 + Ds4 - Ws2^* \gamma s)^2 \\ & \quad + (Hs1 + Hs2)^2)} \\ L_{3s} &= \sqrt{((Ws2 - Ws1 + Ds4^* \gamma s)^2 + (Ds2 + Ds4 + Ws2^* \gamma s)^2 \\ & \quad + (Hs1 + Hs2)^2)} \end{aligned}$$

【 0 2 1 1 】

10

基準状態でのリンクの長さとの差を求めると、以下のようになる。ここで、 $\gamma s > 0$ とする。

$$\begin{aligned} L_{1s}^2 - L_{1s0}^2 &= (Ds2^* \gamma s)^2 > 0 \\ L_{2s}^2 - L_{2s0}^2 &= (Ws2 - Ws1 - Ds4^* \gamma s)^2 - (Ws2 - Ws1)^2 \\ & \quad + (Ds2 + Ds4 - Ws2^* \gamma s)^2 - (Ds2 + Ds4)^2 < 0 \\ L_{3s}^2 - L_{3s0}^2 &= (Ws2 - Ws1 + Ds4^* \gamma s)^2 - (Ws2 - Ws1)^2 \\ & \quad + (Ds2 + Ds4 + Ws2^* \gamma s)^2 - (Ds2 + Ds4)^2 > 0 \end{aligned}$$

【 0 2 1 2 】

基準状態では、胸腰部右リンク20Lの長さ L_{2s} 、胸腰部左リンク21Lの長さ L_{3s} のどちらか一方が長くなり、他方が短くなることが分る。したがって、捻り軸の回りに回転する際に、伸びるリンクにより押される力と、短くなるリンクにより引かれる力の両方が発生して、捻り軸の回りに回転しやすくなる。

20

【 0 2 1 3 】

肩関節部13に関して、指定角度をとることができるようなリンクの長さの決め方を説明する。肩関節部13での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により定義する。図81は、肩関節部13での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。なお、 Q_{1t} と Q_{2t} は、図82に示す。

【 0 2 1 4 】

まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} P_{0t} &: \text{肩関節部13の位置。} \\ P_{1t} &: \text{胸部側主リンク取付部J1の位置。} \\ P_{2t} &: \text{胸部側補助リンク取付部J2の位置。} \\ Q_{1t} &: \text{上腕部側主リンク取付部J20の位置。} \quad Q_{1t} = (x_{1t}, y_{1t}, z_{1t}) \\ Q_{1t0} &: \text{上腕部側主リンク取付部J20の基準状態での位置。} \\ Q_{2t} &: \text{主リンク側補助リンク取付部J21の位置。} \quad Q_{2t} = (x_{2t}, y_{2t}, z_{2t}) \\ Q_{2t0} &: \text{主リンク側補助リンク取付部J21の基準状態での位置。} \end{aligned}$$

30

【 0 2 1 5 】

各点の間隔を、以下の変数で表現する。なお、 K_{1t} と K_{2t} は、図82に示す。

$$\begin{aligned} Wt1 &: \text{線分} P_{0t}P_{1t}、\text{線分} P_{0t}P_{2t} \text{の} X \text{軸に投影した長さ。} \\ Dt1 &: \text{線分} P_{0t}P_{1t} \text{の} Y \text{軸に投影した長さ。} \\ Dt2 &: \text{線分} P_{0t}P_{2t} \text{の} Y \text{軸に投影した長さ。} \\ Ht1 &: \text{線分} P_{0t}P_{1t}、\text{線分} P_{0t}P_{2t} \text{の} Z \text{軸に投影した長さ。} \\ K_{1t} &: \text{線分} P_{0t}Q_{1t} \text{の長さ。} \\ K_{2t} &: \text{線分} Q_{1t}Q_{2t} \text{の長さ。} \end{aligned}$$

40

【 0 2 1 6 】

上で定義した変数を使用することにより、各点の座標は以下のように表される。ここで、肩関節部13の位置 P_{0t} を、座標の原点とする。

$$\begin{aligned} P_{0t} &= (0, 0, 0) \\ P_{1t} &= (-Wt1, -Dt1, -Ht1) \\ P_{2t} &= (-Wt1, Dt2, -Ht1) \end{aligned}$$

50

$$Q_{1t0} = (0, 0, -K_{1t})$$

【 0 2 1 7 】

肩関節部1 3 の回転角度を、以下の変数で表現する。

α_t : 肩関節部1 3 のX 軸回りの回転角。基準状態で $\alpha_t = 0$

β_t : 肩関節部1 3 のY 軸回りの回転角。基準状態で $\beta_t = 0$

[R t] : 肩関節部1 3 の回転行列。

【 0 2 1 8 】

回転行列[R t]は、以下のようになる。

【 0 2 1 9 】

【 数 3 】

$$[Rt] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_t & -\sin\alpha_t \\ 0 & \sin\alpha_t & \cos\alpha_t \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\beta_t & 0 & -\sin\beta_t \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta_t & 0 & \cos\beta_t \end{pmatrix}$$

【 0 2 2 0 】

リンクの長さを、以下の変数で表現する。

L_{1t} : 上腕部駆動主リンク1 4 L の長さ。線分 $P_{1t}Q_{1t}$ の長さ。

L_{2t} : 上腕部駆動補助リンク1 5 L の長さ。線分 $P_{2t}Q_{2t}$ の長さ。

【 0 2 2 1 】

肩関節部1 3 では、主リンク側補助リンク取付部J 2 1 が上腕部駆動主リンク1 4 L 上にあるので、主リンク側補助リンク取付部J 2 1 の位置 Q_{2t} は、以下を満足する必要がある。

$$Q_{2t} = (K_{2t}/L_{1t}) * P_{1t} + (1 - K_{2t}/L_{1t}) * Q_{1t}$$

また、リンク取付部の間隔に関して、以下の制約条件が成立する必要がある。

$$\sqrt{(x1t^2 + y1t^2 + z1t^2)} = K_{1t}$$

【 0 2 2 2 】

肩関節部1 3 の角度行列[R t]を用いて、上腕部側主リンク取付部J 2 0 の位置 Q_{1t} を以下のようにして求める。

$$Q_{1t} = [Rt] * Q_{1t0}$$

この式を変数ごとに表現すると、以下のようになる。

$$x1t = K_{1t} * \cos\alpha_t * \sin\beta_t$$

$$y1t = -K_{1t} * \sin\alpha_t$$

$$z1t = -K_{1t} * \cos\alpha_t * \cos\beta_t$$

【 0 2 2 3 】

位置 Q_{1t} が求められると、以下の式で L_{1t} が計算できる。

$$L_{1t} = \sqrt{((x1t + Wt1)^2 + (y1t + Dt1)^2 + (z1t + Ht1)^2)}$$

【 0 2 2 4 】

位置 Q_{2t} に関する制約式を変数ごとに表現すると、以下のようになる。

$$x2t = x1t - (x1t + Wt1) * (K_{1t}/L_{1t})$$

$$y2t = y1t - (y1t + Dt1) * (K_{1t}/L_{1t})$$

$$z2t = z1t - (z1t + Ht1) * (K_{1t}/L_{1t})$$

【 0 2 2 5 】

位置 Q_{2t} が求められると、以下の式で L_{2t} が計算できる。

$$L_{2t} = \sqrt{((x2t + Wt2)^2 + (y2t + Dt2)^2 + (z2t + Ht2)^2)}$$

【 0 2 2 6 】

肘関節部3 1 に関して、指定角度をとることができるような上腕部でのリンク取付位置の決め方を説明する。肘関節部3 1 での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により定義する。図8 2 は、肘関節部3 1 での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

10

20

30

40

50

【 0 2 2 7 】

まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。

P_{0u} : 肘関節部31の位置。

P_{1u} : 上腕部外側リンク取付部J22の位置。

P_{1u0} : 上腕部外側リンク取付部J22の基準状態での位置。

P_{2u} : 上腕部内側リンク取付部J23の位置。

P_{2u0} : 上腕部内側リンク取付部J23の基準状態での位置。

P_{3u} : 肘部駆動外側リンク取付部J25の位置。 $P_{3u} = (x_{3u}, y_{3u}, z_{3u})$

P_{3u0} : 肘部駆動外側リンク取付部J25の基準状態での位置。

P_{4u} : 肘部駆動内側リンク取付部J24の位置。 $P_{4u} = (x_{4u}, y_{4u}, z_{4u})$

P_{4u0} : 肘部駆動内側リンク取付部J24の基準状態での位置。

10

【 0 2 2 8 】

各点の間隔を、以下の変数で表現する。

$Wu1$: 線分 $P_{0u}P_{1u}$ のX軸に投影した長さ。

$Wu2$: 線分 $P_{0u}P_{2u}$ のX軸に投影した長さ。

$Du1$: 線分 $P_{0u}P_{1u}$ 、線分 $P_{0u}P_{2u}$ のY軸に投影した長さ。

$Hu1$: 線分 $P_{0u}P_{1u0}$ 、線分 $P_{0u}P_{2u0}$ のZ軸に投影した長さ。

K_{1u} : 線分 $P_{0u}P_{4u0}$ のZ軸に投影した長さ。

L_{1u0} : 線分 $P_{1u}P_{3u}$ の長さ。肘部駆動外側リンク32の長さ。

L_{2u0} : 線分 $P_{2u}P_{4u}$ の長さ。肘部駆動内側リンク33の長さ。

K_{2u} : 線分 $P_{3u}P_{4u}$ の長さ。

20

【 0 2 2 9 】

上で定義した変数を使用することにより、各点の座標は以下のように表される。ここで、肘関節部31の位置 P_{0u} を、座標の原点とする。

$$P_{0u} = (0, 0, 0)$$

$$P_{1u0} = (Wu1, Du1, Hu1)$$

$$P_{2u0} = (-Wu2, Du1, Hu1)$$

$$P_{4u0} = (0, Du1, -K_{1u})$$

【 0 2 3 0 】

上腕部外側アクチュエータ34と上腕部内側アクチュエータ35は、上腕部9(Z軸)に平行に設けられている。上腕部外側アクチュエータ34、上腕部内側アクチュエータ35によりそれぞれ移動される上腕部外側リンク取付部J22、上腕部内側リンク取付部J23の位置 P_{1u} 、 P_{2u} はZ軸に平行な方向に移動する。つまり、 P_{1u} 、 P_{2u} は、以下のように表現できる。

$$P_{1u} = (Wu1, Du1, z_{1u})$$

$$P_{2u} = (-Wu2, Du1, z_{2u})$$

30

【 0 2 3 1 】

肘部駆動外側リンク32は肘部駆動内側リンク33に取付けられているので、 P_{2u} 、 P_{3u} 、 P_{4u} は、同一直線上に存在することになる。したがって、以下が成立する。

$$P_{3u} = (K_{2u}/L_{2u0}) * P_{2u} + (1 - K_{2u}/L_{2u0}) * P_{4u}$$

40

【 0 2 3 2 】

基準状態でこの式を適用することで、 P_{3u0} は以下ようになる。

$$P_{3u0} = (-(K_{2u}/L_{2u0}) * Wu1, Du1, -(K_{2u}/L_{2u0}) * (Hu1 + K_{1u}) - K_{1u})$$

【 0 2 3 3 】

固定長である肘部駆動外側リンク32、肘部駆動内側リンク33の長さは、以下のようにになる。

$$L_{2u0} = \sqrt{(Wu2^2 + (Hu1 + K_{1u})^2)}$$

$$L_{1u0} = \sqrt{(Wu1^2 + (Hu1 + K_{1u})^2)}$$

$$+ K_{2u} * (K_{2u} - Hu1 - K_{1u} + Wu1) / (Wu1^2 + (Hu1 + K_{1u})^2)$$

【 0 2 3 4 】

50

肘関節部31の回転角度を、以下の変数で表現する。

α_u : 肘関節部31のX軸回りの回転角。基準状態で $\alpha_u = 0$

γ_u : 肘関節部31のZ軸回りの回転角。基準状態で $\gamma_u = 0$

[R_u] : 肘関節部31の回転行列。

【0235】

回転行列[R_u]は、以下のようになる。

【0236】

【数4】

$$[Ru] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_u & -\sin \alpha_u \\ 0 & \sin \alpha_u & \cos \alpha_u \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \gamma_u & -\sin \gamma_u & 0 \\ \sin \gamma_u & \cos \gamma_u & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad 10$$

【0237】

[R_u]が与えられると、以下の式で、P_{4u}を求める。

$$\begin{aligned} P_{4u} &= (x_{4u}, y_{4u}, z_{4u}) = [R_u] * P_{4u0} \\ &= [R_u] * (0, D_{u1}, -K_{1u})^t \end{aligned}$$

【0238】

L_{2u0}が一定であることから、以下の式で、P_{4u}からz_{2u}を求める。

$$\begin{aligned} L_{2u}^2 &= (x_{4u} + W_{u2})^2 + (y_{4u} - D_{u1})^2 + (z_{4u} - z_{2u})^2 = L_{2u0}^2 \\ z_{2u} &= z_{4u} + \sqrt{(L_{2u0}^2 - (x_{4u} + W_{u2})^2 - (y_{4u} - D_{u1})^2)} \end{aligned} \quad 20$$

【0239】

P_{2u}、P_{3u}、P_{4u}が同一直線上に存在することを表す制約式を適用して、P_{2u}とP_{4u}からP_{3u}を求める。変数ごとに表現すると、以下のようになる。

$$\begin{aligned} x_{3u} &= x_{4u} - (W_{u1} + x_{4u}) * (K_{2u} / L_{2u0}) \\ y_{3u} &= y_{4u} + (D_{u1} - y_{4u}) * (K_{2u} / L_{2u0}) \\ z_{3u} &= z_{4u} + (z_{2u} - z_{4u}) * (K_{2u} / L_{2u0}) \end{aligned}$$

【0240】

L_{1u0}が一定であることから、以下の式で、P_{3u}からz_{1u}を求める。

$$\begin{aligned} L_{1u}^2 &= (x_{3u} - W_{u1})^2 + (y_{3u} - D_{u1})^2 + (z_{3u} - z_{1u})^2 = L_{1u0}^2 \\ z_{1u} &= z_{3u} + \sqrt{(L_{1u0}^2 - (x_{3u} - W_{u1})^2 - (y_{3u} - D_{u1})^2)} \end{aligned} \quad 30$$

【0241】

手首関節部36に関して、指定角度をとることができるようなリンクの長さの決め方を説明する。手首関節部36での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により定義する。図83は、手首関節部36での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

【0242】

まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。

- P_{0v} : 手首関節部36の位置。
- P_{1v} : 前腕部正面リンク取付部J26の位置。
- P_{2v} : 前腕部外側リンク取付部J27の位置。
- P_{3v} : 前腕部内側リンク取付部J28の位置。
- P_{4v} : 手部側正面リンク取付部J29の位置。
- P_{4v0} : 手部側正面リンク取付部J29の基準状態での位置。
- P_{5v} : 手部側外側リンク取付部J30の位置。
- P_{5v0} : 手部側外側リンク取付部J30の基準状態での位置。
- P_{6v} : 手部側内側リンク取付部J31の位置。
- P_{6v0} : 手部側内側リンク取付部J31の基準状態での位置。

ここで、P_{0v}、P_{4v}、P_{5v}およびP_{6v}は、同一平面上にある。

【0243】

40

50

各点の間隔を、以下の変数で表現する。

W_{v1}: 線分P_{0v}P_{1v}、線分P_{0v}P_{2v}のX軸に投影した長さ。

D_{v1}: 線分P_{0v}P_{1v}のY軸に投影した長さ。

H_{v1}: 線分P_{0v}P_{2v}の長さ。

D_{v2}: 線分P_{0v}P_{4v}の長さ。

【 0 2 4 4 】

上で定義した変数を使用することにより、各点の座標は以下のように表される。ここで、胸腰手首関節部36の位置P_{0v}を、座標の原点とする。

$$P_{0v} = (0, 0, 0)$$

$$P_{1v} = (0, D_{v1}, -H_{v1})$$

$$P_{2v} = (W_{v1}, 0, -H_{v1})$$

$$P_{3v} = (-W_{v1}, 0, -H_{v1})$$

$$P_{4v0} = (0, D_{v2}, 0)$$

$$P_{5v0} = (D_{v2} \cdot \cos(\pi/6), -D_{v2} \cdot \sin(\pi/6), 0)$$

$$P_{6v0} = (-D_{v2} \cdot \cos(\pi/6), -D_{v2} \cdot \sin(\pi/6), 0)$$

【 0 2 4 5 】

手首関節部36の回転角度を、以下の変数で表現する。

α_v : 手首関節部36のX軸回りの回転角。基準状態で $\alpha_v = 0$

β_v : 手首関節部36のY軸回りの回転角。基準状態で $\beta_v = 0$

γ_v : 手首関節部36のZ軸回りの回転角。基準状態で $\gamma_v = 0$

[R_v]: 手首関節部36の回転行列。

【 0 2 4 6 】

回転行列[R_v]は、以下のようになる。

【 0 2 4 7 】

【 数5 】

$$[R_v] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_v & -\sin \alpha_v \\ 0 & \sin \alpha_v & \cos \alpha_v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \beta_v & 0 & -\sin \beta_v \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta_v & 0 & \cos \beta_v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \gamma_v & -\sin \gamma_v & 0 \\ \sin \gamma_v & \cos \gamma_v & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

30

【 0 2 4 8 】

リンクの長さを、以下の変数で表現する。

L_{1v}: 前腕部正面リンク37Lの長さ。線分P_{1v}P_{4v}の長さ。

L_{2v}: 前腕部外側リンク38Lの長さ。線分P_{2v}P_{4v}の長さ。

L_{3v}: 前腕部内側リンク39Lの長さ。線分P_{3v}P_{6v}の長さ。

L_{1v0}: 基準状態での前腕部正面リンク37Lの長さ。線分P_{1v}P_{4v0}の長さ。

L_{2v0}: 基準状態での前腕部外側リンク38Lの長さ。線分P_{2v}P_{5v0}の長さ。

L_{3v0}: 基準状態での前腕部内側リンク39Lの長さ。線分P_{3v}P_{6v0}の長さ。

【 0 2 4 9 】

[R_v]が与えられて、以下の式で、P_{4v}、P_{5v}、P_{6v}を求める。

$$P_{4v} = (x_{4v}, y_{4v}, z_{4v})$$

$$= [R_v] \cdot (0, D_{v2}, 0)^t$$

$$P_{5v} = (x_{5v}, y_{5v}, z_{5v})$$

$$= [R_v] \cdot (D_{v2} \cdot \cos(\pi/6), -D_{v2} \cdot \sin(\pi/6), 0)^t$$

$$P_{6v} = (x_{6v}, y_{6v}, z_{6v})$$

$$= [R_v] \cdot (-D_{v2} \cdot \cos(\pi/6), -D_{v2} \cdot \sin(\pi/6), 0)^t$$

【 0 2 5 0 】

P_{4v}、P_{5v}、P_{6v}が求められたので、リンクの長さL_{1v}、L_{2v}、L_{3v}は以下の式で計算できる。

$$L_{1v} = \sqrt{(x_{4v})^2 + (D_{v1} - y_{4v})^2 + (H_{v1} + z_{4v})^2}$$

50

$$\begin{aligned}
L_{2v} &= \sqrt{((Wv1-x5v)^2 + y5v^2 + (Hv1+z5v)^2)} \\
L_{3v} &= \sqrt{((Wv1+x6v)^2 + y6v^2 + (Hv1+z6v)^2)} \\
L_{1v0} &= \sqrt{((Dv1-Dv2)^2 + Hv1^2)} \\
L_{2v0} &= \sqrt{((Wv1-Dv2 \cos(\pi/6))^2 + (Dv2 \sin(\pi/6))^2 + Hv1^2)} \\
L_{3v0} &= \sqrt{((Wv1-Dv2 \cos(\pi/6))^2 + (Dv2 \sin(\pi/6))^2 + Hv1^2)}
\end{aligned}$$

【 0 2 5 1 】

基準状態から Z 軸回りに微小に回転させた場合に、各リンクの長さがどのように変化するかを考察する。P_{4v}、P_{5v}、P_{6v}は以下ようになる。ここで、 γv が微小として、 $\sin \gamma v \doteq \gamma v$ 、 $\cos \gamma v \doteq 1$ で近似する。

$$\begin{aligned}
P_{4v} &= (x4v, y4v, z4v) \\
&= (-Dv2 \sin \gamma v, Dv2 \cos \gamma v, 0) \\
&\doteq (-Dv2 \gamma v, Dv2, 0)
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
P_{5v} &= (x5v, y5v, z5v) \\
&= (Dv2 \cos(\pi/6 - \gamma v), Dv2 \sin(\pi/6 - \gamma v), 0) \\
&\doteq (Dv2 \cos(\pi/6) + Dv2 \sin(\pi/6) * \gamma v, \\
&\quad Dv2 \cos(\pi/6) * \gamma v - Dv2 \sin(\pi/6), 0)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{6v} &= (x6v, y6v, z6v) \\
&= (-Dv2 \cos(\pi/6 + \gamma v), -Dv2 \sin(\pi/6 + \gamma v), 0) \\
&\doteq (-Dv2 \cos(\pi/6) + Dv2 \sin(\pi/6) * \gamma v, \\
&\quad -Dv2 \cos(\pi/6) * \gamma v - Dv2 \sin(\pi/6), 0)
\end{aligned} \tag{20}$$

【 0 2 5 2 】

リンクの長さを計算すると、以下ようになる。

$$\begin{aligned}
L_{1v} &= \sqrt{((Dv2 \gamma v)^2 + (Dv1 - Dv2)^2 + Hv1^2)} \\
L_{2v} &= \sqrt{((Wv1 - Dv2 \cos(\pi/6) - Dv2 \sin(\pi/6) * \gamma v)^2 \\
&\quad + (Dv2 \cos(\pi/6) * \gamma v - Dv2 \sin(\pi/6))^2 + Hv1^2)} \\
L_{3v} &= \sqrt{((Wv1 - Dv2 \cos(\pi/6) + Dv2 \sin(\pi/6) * \gamma v)^2 \\
&\quad + (Dv2 \cos(\pi/6) * \gamma v + Dv2 \sin(\pi/6))^2 + Hv1^2)}
\end{aligned}$$

【 0 2 5 3 】

基準状態でのリンクの長さとの差を求めると、以下ようになる。ここで、 $\gamma v > 0$ とする。

$$\begin{aligned}
L_{1v}^2 - L_{1v0}^2 &= (Dv2 \gamma v)^2 > 0 \\
L_{2v}^2 - L_{2v0}^2 &= (Wv1 - Dv2 \cos(\pi/6) - Dv2 \sin(\pi/6) * \gamma v)^2 \\
&\quad - (Wv1 - Dv2 \cos(\pi/6))^2 \\
&\quad + (Dv2 \sin(\pi/6) - Dv2 \cos(\pi/6) * \gamma v)^2 \\
&\quad - (Dv2 \sin(\pi/6))^2 < 0 \\
L_{3v}^2 - L_{3v0}^2 &= (Wv1 - Dv2 \cos(\pi/6) + Dv2 \sin(\pi/6) * \gamma v)^2 \\
&\quad - (Wv1 - Dv2 \cos(\pi/6))^2 \\
&\quad + (Dv2 \sin(\pi/6) + Dv2 \cos(\pi/6) * \gamma v)^2 \\
&\quad - (Dv2 \sin(\pi/6))^2 > 0
\end{aligned}$$

【 0 2 5 4 】

基準状態では、前腕部外側リンク 38 L の長さ L_{2v}、前腕部内側リンク 39 L の長さ L_{3v} のどちらか一方が長くなり、他方が短くなることが分る。したがって、捻り軸である前腕部 8 の回りに回転する際に、伸びるリンクにより押される力と、短くなるリンクにより引かれる力の両方が発生して、捻り軸の回りに回転しやすくなる。

【 0 2 5 5 】

首関節部 27 も、手首関節部 36 と同様に、3 本の可変長リンクの長さを変更することにより 3 回転自由度で接続角度を変更する。首関節部 27 でも、手首関節部 36 と同様な方法で、決められた接続角度になるような 3 本の可変長リンクの長さを決めることができる。

【 0 2 5 6 】

10

20

30

40

50

足首関節部41に関して、指定角度をとることができるようなリンクの長さの決め方を説明する。足首関節部41での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により定義する。図84は、足首関節部41での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

【0257】

まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。

P_{0m} : 足首関節部41の位置。

P_{1m} : 足部外側リンク取付部J41の位置。

P_{2m} : 足部内側リンク取付部J42の位置。

P_{3m} : 下腿部外側リンク取付部J39の位置。

10

P_{3m0} : 下腿部外側リンク取付部J39の基準状態での位置。

P_{4m} : 下腿部内側リンク取付部J40の位置。

P_{4m0} : 下腿部内側リンク取付部J40の基準状態での位置。

【0258】

各点の間隔を、以下の変数で表現する。

W_{m1} : 線分 $P_{0m}P_{1m}$ 、線分 $P_{0m}P_{2m}$ のX軸に投影した長さ。

W_{n2} : 線分 $P_{0m}P_{3m0}$ 、線分 $P_{0m}P_{4m0}$ のX軸に投影した長さ。

D_{m1} : 線分 $P_{0m}P_{1m}$ 、線分 $P_{0m}P_{2m}$ のY軸に投影した長さ。

D_{n2} : 線分 $P_{0m}P_{3m0}$ 、線分 $P_{0m}P_{4m0}$ のY軸に投影した長さ。

H_{m1} : 線分 $P_{0m}P_{1m}$ 、線分 $P_{0m}P_{2m}$ のZ軸に投影した長さ。

20

H_{n2} : 線分 $P_{0m}P_{3m0}$ 、線分 $P_{0m}P_{4m0}$ のZ軸に投影した長さ。

D_{m1} : 線分 $P_{0m}P_{1m}$ のY軸に投影した長さ。

【0259】

上で定義した変数を使用することにより、各点の座標は以下のように表される。ここで、足首関節部41の位置 P_{0m} を、座標の原点とする。

$P_{0m} = (0, 0, 0)$

$P_{1m} = (W_{m1}, D_{m1}, -H_{m1})$

$P_{2m} = (-W_{m1}, D_{m1}, -H_{m1})$

$P_{3m0} = (W_{n2}, -D_{n2}, H_{n2})$

$P_{4m0} = (-W_{n2}, -D_{n2}, H_{n2})$

30

【0260】

足首関節部41の回転角度を、以下の変数で表現する。

α_m : 足首関節部41のX軸回りの回転角。基準状態で $\alpha_m = 0$

β_m : 足首関節部41のY軸回りの回転角。基準状態で $\beta_m = 0$

$[R_m]$: 足首関節部41の回転行列。

【0261】

回転行列 $[R_m]$ は、以下ようになる。

【0262】

【数6】

$$[R_m] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_m & -\sin \alpha_m \\ 0 & \sin \alpha_m & \cos \alpha_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \beta_m & 0 & -\sin \beta_m \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta_m & 0 & \cos \beta_m \end{pmatrix}$$

40

【0263】

リンクの長さを、以下の変数で表現する。

L_{1m} : 下腿部外側リンク45Lの長さ。線分 $P_{1m}P_{3m}$ の長さ。

L_{2m} : 下腿部内側リンク46Lの長さ。線分 $P_{2m}P_{4m}$ の長さ。

【0264】

$[R_m]$ が与えられて、以下の式で、 P_{3m} 、 P_{4m} を求める。

50

$$P_{3m} = (x_{3m} \ y_{3m} \ z_{3m}) = [R \ n] * (W \ n2, -D \ n2, H \ n2)^t$$

$$P_{4m} = (x_{4m} \ y_{4m} \ z_{4m}) = [R \ n] * (-W \ n2, -D \ n2, H \ n2)^t$$

【 0 2 6 5 】

P_{3m} 、 P_{4m} が求められたので、リンクの長さ L_{1m} 、 L_{2m} は以下の式で計算できる。

$$L_{1m} = \sqrt{((x_{3m} - W \ n1)^2 + (y_{3m} - D \ n1)^2 + (z_{3m} - H \ n1)^2)}$$

$$L_{2m} = \sqrt{((x_{4m} - W \ n1)^2 + (y_{4m} - D \ n1)^2 + (z_{4m} - H \ n2)^2)}$$

【 0 2 6 6 】

股関節部2 2 に関して、指定角度をとることができるようなリンクの長さの決め方を説明する。股関節部2 2 での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により定義する。図8 5 は、股関節部2 2 での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

10

【 0 2 6 7 】

まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。

P_{0q} : 股関節部2 2 の位置。

P_{1q} : 股部正面リンク取付部J 1 1 の位置。

P_{1q0} : 股部正面リンク取付部J 1 1 の基準状態での位置。

P_{2q} : 股部外側リンク取付部J 1 2 の位置。

P_{2q0} : 股部外側リンク取付部J 1 2 の基準状態での位置。

P_{3q} : 股部内側リンク取付部J 1 3 の位置。

P_{3q0} : 股部内側リンク取付部J 1 3 の基準状態での位置。

20

P_{4q} : 膝部正面リンク取付部J 3 2 の位置。

P_{5q} : 膝部外側リンク取付部J 3 3 の位置。

P_{6q} : 膝部内側リンク取付部J 3 4 の位置。

【 0 2 6 8 】

各点の間隔を以下の変数で定義する。なお座標系として、互いに直交するU軸、V軸およびW軸を使用する。UVW座標系は、大腿骨部1 0 Aと共に移動する座標系である。W軸を、大腿骨部1 0 Aが延在する方向とする。U軸を、基準状態でX軸と一致する軸とする。

Wq2: 線分 $P_{0q} P_{2q0}$ をU軸に投影した長さ。

Wq3: 線分 $P_{0q} P_{3q0}$ をU軸に投影した長さ。

30

Dq1: 線分 $P_{0q} P_{1q0}$ をV軸に投影した長さ。

Dq2: 線分 $P_{0q} P_{2q0}$ をV軸に投影した長さ。

Dq3: 線分 $P_{0q} P_{3q0}$ をV軸に投影した長さ。

Dq4: 線分 $P_{0q} P_{4q}$ をV軸に投影した長さ。

Hq1: 線分 $P_{0q} P_{1q0}$ をW軸に投影した長さ。

Hq2: 線分 $P_{0q} P_{2q0}$ をW軸に投影した長さ。

Hq3: 線分 $P_{0q} P_{3q0}$ をW軸に投影した長さ。

Hq4: 線分 $P_{0q} P_{4q0}$ 、線分 $P_{0q} P_{5q0}$ 、線分 $P_{0q} P_{6q0}$ をW軸に投影した長さ。

【 0 2 6 9 】

40

上で定義した変数を使用することにより、基準状態での各点の座標はUVW座標系では、以下のように表される。股関節部2 2 の位置を座標の原点とする。

$$P_{0q} = (0, 0, 0)$$

$$P_{1q0} = (0, -Dq1, Hq1)$$

$$P_{2q0} = (Wq2, Dq2, -Hq2)$$

$$P_{3q0} = (-Wq3, Dq3, -Hq3)$$

$$P_{4q} = (0, -Dq3, -Hq4)$$

$$P_{5q} = (Dq4 * \cos(\pi/6), Dq4 * \sin(\pi/6), -Hq4)$$

$$P_{6q} = (-Dq4 * \cos(\pi/6), Dq4 * \sin(\pi/6), -Hq4)$$

【 0 2 7 0 】

50

リンクの長さを以下の変数で表現する。

L_{1q} : 大腿部正面リンク2 3 L の長さ。線分 $P_{1q} P_{4q}$ の長さ。

L_{2q} : 大腿部外側リンク2 4 L の長さ。線分 $P_{2q} P_{5q}$ の長さ。

L_{3q} : 大腿部内側リンク2 5 L の長さ。線分 $P_{3q} P_{6q}$ の長さ。

L_{1q0} : 基準状態での大腿部正面リンク2 3 L の長さ。線分 $P_{1q0} P_{4q}$ の長さ

。

L_{2q0} : 基準状態での大腿部外側リンク2 4 L の長さ。線分 $P_{2q0} P_{5q}$ の長さ

。

L_{3q0} : 基準状態での大腿部内側リンク2 5 L の長さ。線分 $P_{3q0} P_{6q}$ の長さ

。

【 0 2 7 1 】

股関節部2 2 の回転角度を、以下の変数で定義する。

αq : 股関節部2 2 のX 軸回りの回転角。基準状態で $\alpha q = \alpha q0$ 。

βq : 股関節部2 2 のY 軸回りの回転角。基準状態で $\beta q = 0$ 。

γq : 股関節部2 2 のY 軸回りの回転角。基準状態で $\gamma q = 0$ 。

$[Rq]$: 股関節部2 2 のUVW座標系での回転行列。

【 0 2 7 2 】

大腿骨部1 0 A が延在する方向がXYZ座標系で基準状態($\alpha q0, 0, 0$)から($\alpha q, \beta q, \gamma q$)に回転する場合には、XYZ座標系で固定された点は、UVW座標系では($\alpha q0 - \alpha q, -\beta q, -\gamma q$)だけ回転することになる。したがって、回転行列 Rq は以下のようになる。

【 0 2 7 3 】

【 数7 】

$$[Rq] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha q - \alpha q0) & \sin(\alpha q - \alpha q0) \\ 0 & -\sin(\alpha q - \alpha q0) & \cos(\alpha q - \alpha q0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \beta q & 0 & \sin \beta q \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta q & 0 & \cos \beta q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \gamma q & \sin \gamma q & 0 \\ -\sin \gamma q & \cos \gamma q & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

【 0 2 7 4 】

XYZ座標系で固定された点 P_{1q} 、 P_{2q} 、 P_{3q} のUVW座標系での座標は、以下のようになる。大腿骨部1 0 Aと共に移動する点 P_{4q} 、 P_{5q} 、 P_{6q} は、UVW座標系では座標が変化しない。

$$P_{1q} = (u1q, v1q, w1q)$$

$$= [Rq] * (0, -Dq1, Hq1)^t$$

$$P_{2q} = (u2q, v2q, w2q)$$

$$= [Rq] * (Wq2, Dq2, -Hq2)^t$$

$$P_{3q} = (u3q, v3q, w3q)$$

$$= [Rq] * (-Wq3, Dq3, -Hq3)^t$$

【 0 2 7 5 】

点 P_{1q} 、 P_{2q} 、 P_{3q} のUVW座標系での座標が求められたので、リンクの長さは以下のようになる。

$$L_{1q} = \sqrt{(u1q^2 + (v1q + Dq4)^2 + (w1q + Hq4)^2)}$$

$$L_{2q} = \sqrt{((u2q - Dq4 * \cos(\pi/6))^2 + (v2q - Dq4 * \sin(\pi/6))^2 + (w2q + Hq4)^2)}$$

$$L_{3q} = \sqrt{((u3q + Dq4 * \cos(\pi/6))^2 + (v3q - Dq4 * \sin(\pi/6))^2 + (w3q + Hq4)^2)}$$

【 0 2 7 6 】

基準状態からW軸回りに微小に回転させた場合に、各リンクの長さがどのように変化するかを考察する。点 P_{1q} 、 P_{2q} 、 P_{3q} は以下のようになる。ここで、 γq は微小として、 $\sin \gamma q \doteq \gamma q$ 、 $\cos \gamma q \doteq 1$ で近似する。

$$P_{1q} = (u1q, v1q, w1q)$$

$$= (-Dq1 * \sin \gamma q, -Dq1 * \cos \gamma q, Hq1)$$

$$\doteq (-Dq1 * \gamma q, -Dq1, Hq1)$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
P_{2q} &= (u2q, v2q, w2q) \\
&= (Wq2^* \cos \gamma q + Dq2^* \sin \gamma q, -Wq2^* \sin \gamma q + Dq2^* \cos \gamma q, -Hq2) \\
&\doteq (Wq2 + Dq2^* \gamma q, -Wq2^* \gamma q + Dq2, -Hq2) \\
P_{3q} &= (u3q, v3q, w3q) \\
&= (-Wq3^* \cos \gamma q + Dq3^* \sin \gamma q, Wq3^* \sin \gamma q + Dq3^* \cos \gamma q, -Hq3) \\
&\doteq (-Wq3 + Dq3^* \gamma q, Wq3^* \gamma q + Dq3, -Hq3)
\end{aligned}$$

【 0 2 7 7 】

リンクの長さを計算すると、以下ようになる。

$$\begin{aligned}
L_{1q} &= \sqrt{((Dq1^* \gamma q)^2 + (-Dq1 + Dq4)^2 + (Hq1 + Hq4)^2)} \\
L_{2q} &= \sqrt{((Wq2 + Dq2^* \gamma q - Dq4^* \cos(\pi/6))^2 + (-Wq2^* \gamma q + Dq2 - Dq4^* \sin(\pi/6))^2 + (-Hq2 + Hq4)^2)} \\
L_{3q} &= \sqrt{((-Wq3 + Dq3^* \gamma q + Dq4^* \cos(\pi/6))^2 + (Wq3^* \gamma q + Dq3 - Dq4^* \sin(\pi/6))^2 + (-Hq3 + Hq4)^2)}
\end{aligned}$$

10

【 0 2 7 8 】

基準状態でのリンクの長さとの差を求めると、以下ようになる。

$$\begin{aligned}
L_{1q}^2 - L_{1q0}^2 &= (Dq1^* \gamma q)^2 > 0 \\
L_{2q}^2 - L_{2q0}^2 &= (Wq2 + Dq2^* \gamma q - Dq4^* \cos(\pi/6))^2 - (Wq2 - Dq4^* \cos(\pi/6))^2 \\
&\quad + (-Wq2^* \gamma q + Dq2 - Dq4^* \sin(\pi/6))^2 - (Dq2 - Dq4^* \sin(\pi/6))^2 \\
&= \gamma q^* ((Dq2^2 + Wq2^2)^* \gamma q + 2^* (Wq2^* \sin(\pi/6) - Dq2^* \cos(\pi/6))^* Dq4) \\
L_{3q}^2 - L_{3q0}^2 &= (-Wq3 + Dq3^* \gamma q + Dq4^* \cos(\pi/6))^2 - (-Wq3 + Dq4^* \cos(\pi/6))^2 \\
&\quad + (Wq3^* \gamma q + Dq3 - Dq4^* \sin(\pi/6))^2 - (Dq3 - Dq4^* \sin(\pi/6))^2 \\
&= \gamma q^* ((Dq3^2 + Wq3^2)^* \gamma q - 2^* (Wq3^* \sin(\pi/6) - Dq3^* \cos(\pi/6))^* Dq4)
\end{aligned}$$

20

【 0 2 7 9 】

上に示す式から、 $Wq2^* \sin(\pi/6) - Dq2^* \cos(\pi/6) > 0$ 、かつ $Wq3^* \sin(\pi/6) - Dq3^* \cos(\pi/6) > 0$ が成立する場合、あるいは、 $Wq2^* \sin(\pi/6) - Dq2^* \cos(\pi/6) < 0$ 、かつ $Wq3^* \sin(\pi/6) - Dq3^* \cos(\pi/6) < 0$ が成立する場合には、基準状態から W 軸回りに微小角度回転すると、大腿部外側リンク 2 4 L の長さ L_{2q} 、大腿部内側リンク 2 5 L の長さ L_{3q} のどちらか一方が長くなり、他方が短くなることが分かる図 8 5 に示すように、線分 $P_{0q} P_{2q}$ が V 軸となす角度と線分 $P_{0q} P_{3q}$ が V 軸となす角度は、どちらも $\pi/6 (= 60^\circ)$ より大きい。つまり、 $Wq2^* \sin(\pi/6) - Dq2^* \cos(\pi/6) > 0$ 、かつ $Wq3^* \sin(\pi/6) - Dq3^* \cos(\pi/6) > 0$ が成立する。股関節部 2 2 では、基準状態から W 軸回りに微小角度回転する場合に、大腿部外側リンク 2 4 L の長さ L_{2q} 、大腿部内側リンク 2 5 L の長さ L_{3q} のどちらか一方が長くなり、他方が短くなることが分かる。

30

【 0 2 8 0 】

膝関節部 4 0 に関して、指定角度をとることができるような膝部駆動リンク 4 2 L の長さの決め方を説明する。膝関節部 4 0、膝部駆動リンク取付部 J 3 5、大腿部側補助具取付部 J 3 6 の位置は、大腿骨部 1 0 A に対して決まっている。膝関節部 4 0 の角度 α_n が決まると、下腿部側補助具取付部 J 3 8 の位置が決まる。大腿部側補助具 4 3 と下腿部側補助具 4 4 の長さは固定なので、下腿部側補助具取付部 J 3 8 の位置が決まると、膝部駆動リンク補助具接続部 J 3 7 の位置が決まる。膝部駆動リンク 4 2 L の長さを、決まった膝部駆動リンク補助具接続部 J 3 7 と膝部駆動リンク取付部 J 3 5 との距離にすれば、膝関節部 4 0 を指定した角度 α_n にすることができる。

40

【 0 2 8 1 】

手部 9 は、各指部の第 1 指関節部、第 2 指関節部が指定された角度になるように、各指関節部のウォームギヤが指定された角度に対応する位置になるように、モータが駆動される。対向可能指部 9 7 が普通指部と対向でき、第 1 関節部だけを曲げることができるので、指部を伸ばして薄い紙などを挟んで持つことができる。対向可能指部 9 7 を持たず、あらかじめ対向するように指部を配置してもよい。指部は 5 本でなくてもよく、少なくとも 3 本あればよい。手部 9 のように、1 本の対向可能指部と 4 本の普通指部を有する方が、物を掴む、ボタンを押す、レバーを操作するなど人と同様な動作をする上で有利である。

50

【 0 2 8 2 】

人型ロボット 100 では、各関節部をアクチュエータの伸縮により駆動する方式としている。そのため、関節部にギヤを配置するする必要がなく、関節部をコンパクトにできる。関節部を人間と同様な次数の回転自由度を持たせているので、人と同様な動作をすることができる。

【 0 2 8 3 】

手部9 は、親指に相当する対向可能指部9 7 を有する。対向可能指部9 7 を4 本の普通指部9 3 、9 4 、9 5 、9 6 と対向させることができ、対向可能指部9 7 と普通指部9 3 、9 4 、9 5 、9 6 とで物を掴むことができる。各指関節部は、ウォームとウォームホイールを使用するウォームギヤ機構で駆動するようにしたので、指曲げの力を大きくすることができる。第1 指関節部および第2 指関節部をそれぞれウォームギヤ機構で駆動するので、第1 指関節部と第2 指関節部のどちらか一方だけを曲げたり、両方を曲げたりできる。また、電源供給が遮断された場合にも、ウォームギヤ機構により把持力を維持できる。

10

【 0 2 8 4 】

この発明に係る人型ロボットは、人に近い動きを可能とする構造を有するものである。そのため、人型ロボットが通常の人作業の代替することが可能となる。人工知能が搭載されれば、産業上、高齢化社会、労働力不足の解消に利用可能と判断される。特に、長時間作業が厳しい環境（放射線環境、高温環境、低温環境等）下や単純作業での労働力不足の解消に利用可能と推測される。

【 0 2 8 5 】

20

3 回転自由度接続機構は、胸屈曲部C 1 、肩部C 4 、肘部C 5 、膝部C 8 、足首部C 9 で使用してもよい。3 回転自由度接続機構は、胴体屈曲部C 2 、首部C 3 、手首部C 6 、股部C 7 のすべてではなく、胴体屈曲部C 2 、首部C 3 、手首部C 6 、股部C 7 、胸屈曲部C 1 、肩部C 4 、肘部C 5 、膝部C 8 、足首部C 9 の少なくとも一つで使用してもよい。

【 0 2 8 6 】

人型ロボットは、胸部、頭部および上肢部だけを備えるものでもよい。人型ロボットは、腰部、胸部、頭部および上肢部だけを備えるものでもよい。人型ロボットは、腰部および下肢部だけを備えるものでもよい。人型ロボットは、頭部を備えなくてもよい。そのような人型ロボットが有する少なくとも一つの関節部に、3 回転自由度接続機構を使用してもよい。腰部を有せず上肢部を有する人型ロボットでは、手部から遠い側を第1 部材とする。

30

【 0 2 8 7 】

人型ロボットではなく、手部と、手部から直列に接続された1 個または複数個の腕区間部とを有するロボットアームに、この発明に係る3 回転自由度接続機構を適用してもよい。手部および腕区間部の何れかを第2 部材として、手部から遠い側の第1 部材に第2 部材を3 回転自由度で回転可能に接続するように、3 回転自由度接続機構を使用すればよい。そのようなロボットアームは、手部を適切な位置に適切な角度で向けることができる。

【 0 2 8 8 】

この発明に係る手部は、手部だけをロボットハンドとして使用することもできる。また、この実施の形態1 とは異なる手部を使用してもよい。

40

【 0 2 8 9 】

関節部およびリンク取付部に2 回転自由度を持たせる2 軸ジンバルは、実施の形態で示したものと異なる構造のものを使用してもよい。関節部およびリンク取付部が適用される箇所に応じて、適切なものを使用すればよい。

【 0 2 9 0 】

実施の形態1 での胴体屈曲部、胸屈曲部、首部、肩部、肘部、手首部、股部、膝部、足首部が有する各特徴は、3 回転自由度接続機構を有さない人型ロボットにも適用できる。

【 0 2 9 1 】

アクチュエータは、ねじ棒などを使用するスクリー系のものでもなく、油圧を

50

利用するものなどでもよい。2点間の距離を変更し維持できるものであれば、アクチュエータはどのような構成のものでもよい。アクチュエータで、モータの回転をねじ棒に伝える機構は、ギヤ、タイミングベルトなど適切なものを使用すればよい。

【0292】

対向可能指部は、掌板部の側面の位置から掌板部と交差して普通指部と対向する位置に移動可能であり、かつ普通指部と同様に3個の指関節部を持たせるようにしてもよい。そのためには、対向可能指部が、第4指節部と、第4指節部を第3指節部に回転可能に接続する第4指関節部をさらに有する。そして、第3指関節部は、ウォームギヤ機構により第3指節部を第2指節部に対して回転させるようにする。第4指関節部は、第3指関節部と連動して回転してもよいし、第3指関節部とは独立に回転してもよい。手部が、常に普通指部と対向する位置に存在する指部を備えてもよい。普通指部とは異なる方向に曲げられる指部を手部が、備えてもよい。

10

以上のことは、他の実施の形態でもあてはまる。

【0293】

実施の形態2.

実施の形態2は、膝関節部40を駆動する膝部駆動リンク42Lを下腿部11側だけに接続した場合である。図86は、この発明の実施の形態2に係る人型ロボット100Xの斜視図である。人型ロボット100Xの正面図、左側面図、背面図および平面図を、それぞれ図87、図88および図89に示す。

【0294】

20

人型ロボット100Xでは、大腿部10Xに膝部駆動リンク42Lの一端が取付けられない。下腿部11Xにだけ膝部駆動リンク42Lの一端が取付けられる。人型ロボット100Xは、大腿部10Xと下腿部11Xがほぼ平行になるまで膝関節部40Xを大きく曲げると、膝関節部40Xを伸ばす力を十分に出せない場合がある。膝関節部40Xを大きく曲げるような姿勢をとる必要が無い場合は、人型ロボット100Xは、実施の形態1の人型ロボット100と同様に使用できる。人型ロボット100Xでは、膝関節部40Xの構造が簡素化されているので、人型ロボット100よりも低コストで製造できる。

【0295】

実施の形態3.

実施の形態3は、つま先部と足本体部とがなす角度を変更するアクチュエータを設けた場合である。この発明の実施の形態3に係る人型ロボット100Yが有する左の足部の平面図、左側面図、正面図および斜視図を、図90、図91、図92および図93に示す。

30

【0296】

人型ロボット100Yが有する足部12Yは、足本体部12Aとつま先部12Bとがなす角度を変更するつま先部駆動アクチュエータ47を有する。つま先部駆動アクチュエータ47は、足首関節部41と縦に並んでつま先部12B側に配置される。足本体部12Aには、足本体部側リンク取付部J43が設けられる。足本体部側リンク取付部J43には、つま先部駆動リンク47Lの一端が回転可能に取付けられる。つま先部12Bには、つま先部駆動リンク47Lのもう一端が回転可能に取付けられるつま先部側リンク取付部J44が設けられる。足本体部側リンク取付部J43およびつま先部側リンク取付部J44では、足部12Yの左右方向に平行な回転軸の回りの1回転自由度を有してつま先部駆動リンク47Lが取付けられる。モータ47Mは、つま先部駆動リンク47Lの上側に配置される。

40

【0297】

足内屈曲部C10は、足本体部12Aの前方に接続したつま先部12Bを足本体部12Aに回転可能に接続する。足内屈曲部C10は、つま先関節部12C、つま先部駆動リンク47Lとモータ47Mとを有するつま先部駆動アクチュエータ47、つま先部12Bに設けられたつま先側リンク取付部J44、および足本体部Aに設けられた足本体側リンク取付部J43を有する。つま先関節部12Cは、つま先部12Bと足本体部12Aとを1回転自由度で接続する。つま先部駆動リンク47Lは、つま先部12Bおよび足本体部1

50

2 A の上側に位置する長さを変更可能なリンクである。つま先側リンク取付部 J 4 4 には、つま先部駆動リンク 4 7 L の一端が回転可能に取付けられる。足本体側リンク取付部 J 4 3 には、つま先部駆動リンク 4 4 L の他端が回転可能に取付けられる。

【 0 2 9 8 】

つま先部駆動リンク 4 7 L が短くなると、つま先部 1 2 B と足本体部 1 2 A とがなす角度が小さくなり、つま先部 1 2 B が上に移動する。つま先部駆動リンク 4 7 L が長くなると、つま先部 1 2 B と足本体部 1 2 A とがなす角度が大きくなり、つま先部 1 2 B が下に移動する。

【 0 2 9 9 】

つま先部駆動リンク 4 7 L を備えることで、つま先部 1 2 B と足本体部 1 2 A との角度を指定された角度にすることができる。そのため、人型ロボット 1 0 0 Y が歩いたり、走ったりする際に、人型ロボット 1 0 0 Y の動作を人間の動作により近くすることができる。

10

【 0 3 0 0 】

足部 1 2 の内部につま先部駆動アクチュエータ 4 7 を配置するスペースが十分でない場合は、下腿部 1 1 などに設けたモータなどからワイヤなどでつま先関節部 1 2 C の角度を変更する力を伝えるようにしてもよい。

【 0 3 0 1 】

実施の形態 4 .

実施の形態 4 は、油圧機構を可変長リンクに使用した場合である。人型ロボット 1 0 0 Z は、油圧機構を使用したアクチュエータを有する。図 9 4 は、実施の形態 4 に係る人型ロボットが有するアクチュエータが有する可変長リンクの構造を説明する断面図である。

20

【 0 3 0 2 】

胸腰部中央アクチュエータ 1 9 Z を例にして、油圧機構を使用するアクチュエータの構造を説明する。アクチュエータ 1 9 Z は、可変長リンク 1 9 L Z とモータ 1 9 M とを有する。可変長リンク 1 9 L Z は、シリンダ 1 9 H と、シリンダ 1 9 H の内部を移動するピストン 1 9 J と、配管 1 9 K と、ポンプ 1 9 N とを有する。シリンダ 1 9 H には、鉱物油などの液体が充填される。ピストン 1 9 J は、シリンダ 1 9 H の内部を第 1 の部屋 1 9 P と第 2 の部屋 1 9 Q とに区分する。配管 1 9 K は、第 1 の部屋 1 9 P と第 2 の部屋 1 9 Q とを結ぶ。配管 1 9 K には、液体が充填される。ポンプ 1 9 N は、配管 1 9 K の途中に設けられる。ポンプ 1 9 N は、モータ 1 9 M により駆動される。ポンプ 1 9 N は、モータ 1 9 M により駆動される。ポンプ 1 9 N は、液体を第 1 の部屋 1 9 P から第 2 の部屋 1 9 Q へ移動させることができ、液体を第 2 の部屋 1 9 Q から第 1 の部屋 1 9 P へ移動させることができる。

30

【 0 3 0 3 】

ピストン 1 9 J の一端が胸側中央リンク取付部 J 5 に取付けられえ。シリンダ 1 9 H の一端が腰側中央リンク取付部 J 1 0 に取付けられる。

【 0 3 0 4 】

ポンプ 1 9 N が、第 1 の部屋 1 9 P から第 2 の部屋 1 9 Q へ液体を移動させると、ピストン 1 9 J が胸側中央リンク取付部 J 5 に近づく方向へ移動する。ポンプ 1 9 N が、第 2 の部屋 1 9 Q から第 1 の部屋 1 9 P へ液体を移動させると、ピストン 1 9 J が胸側中央リンク取付部 J 5 から遠ざかる方向へ移動する。第 1 の部屋 1 9 P との第 2 の部屋 1 9 Q との間で液体が移動しなければ、ピストン 1 9 J の位置は変化しない。したがって、可変長リンク 1 9 L Z の長さは変化可能であり、可動範囲内の任意の長さを維持できる。

40

【 0 3 0 5 】

モータ 1 9 M がポンプ 1 9 N を駆動することで、ねじ棒 1 9 A などを使用するスクリュウ系のアクチュエータの替わりに油圧機構を使用するアクチュエータを使用することができる。

【 0 3 0 6 】

配管 1 9 K を液体が流れるか流れないかを切替えるバルブを設けてもよい。可変長リン

50

ク１９ＬＺの長さを変化させる場合には、バルブを開く。可変長リンク１９ＬＺの長さを固定する場合には、バルブを閉じる。

【０３０７】

実施の形態５．

実施の形態５は、対向可能指部の替わりに普通指部と常に対向する対向指部を有する手部を人型ロボットが有する場合である。図９５は、実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部９Ａを手の甲側から見た斜視図である。図９６は、左の手部９Ａを手の平側から見た斜視図である。図９７、図９８、および図９９は、左の手部９Ａの正面図、第１指部８３が存在する側から見た側面図、および背面図である。手部９Ａの手の平側から見た図を正面図とする。左の手部９Ａは、手の平を正面に向けており第１指部８３から第４指部８６を上に向けた状態で図示している。図１００は、左の手部９Ａを指先側から見た側面図である。図１０１は、左の手部９Ａを手首側から見た側面図である。図１０２は、対向指部８７を曲げた状態での第１指部が存在する側から見た側面図である。図１０１では、図を見やすくするために、手首取付部８１を省略した状態で図示している。

10

【０３０８】

手部９Ａの構造を説明する。手部９Ａは、手首取付部８１により手首板部９１に取付けられる。手首取付部８１は、側面から見るとＬ字状の部材である。手首取付部８１は、手首板部９１に取付けられる円形の取付板部８１Ａと、掌板部８２と接続する長形状の掌板接続部８１Ｂとを有する。取付板部８１Ａと掌板接続部８１Ｂとは、約９０度の角度で接続する。ここでは、手首取付部８１と手首板部９１の間に円筒状の部材を挟んでいる。円筒状の部材を挟まなくてもよい。

20

【０３０９】

図１０３は、左の手部の掌板部の平面図である。図１０３に示すように、掌板部８２において、第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５、第４指部８６および対向指部８７が取付けられる略長方形の部分を、それぞれ第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃ、第４指取付部８２Ｄおよび対向指取付部８２Ｅと呼ぶ。掌板部８２のそれ以外の部分を、掌板本体部８２Ｆと呼ぶ。第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄは、掌板本体部８２Ｆの指先方向の指先側に接続する。対向指取付部８２Ｅは、指先方向の手首側であり手幅方向では第１指取付部８２Ａ側である掌板部８２の角に存在する。

30

【０３１０】

第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃ、第４指取付部８２Ｄおよび対向指取付部８２Ｅは、指部の第１指節部が接続される指部ごとに分離した指根元部である。掌板本体部８２Ｆは、指根元部が接続する本体部である。

【０３１１】

第１指取付部８２Ａと第２指取付部８２Ｂとは直接は接続せず、掌板本体部８２Ｆを介して接続する。第２指取付部８２Ｂと第３指取付部８２Ｃも、掌板本体部８２Ｆを介して接続する。第３指取付部８２Ｃと第４指取付部８２Ｄも、掌板本体部８２Ｆを介して接続する。第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄは、隣接するものとの間に間隔を持たせて掌板本体部８２Ｆと接続する。第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５および第４指部８６は、指先側が開くように掌板部８２に取付けられる。そのため、第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄは、それぞれが第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５および第４指部８６と同じ方向になるように、掌板本体部８２Ｆと接続する。

40

【０３１２】

第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄは、指先方向と直交する手幅方向の幅が狭くなる幅減少部を介して掌板本体部８２Ｆと接続する。そのため、第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄが掌板本体部８２Ｆと接続する箇所には、切り込みまたは段差を設ける。第１指取付部８２Ａには、第２指取付部８２Ｂでない側は幅を狭くする段差

50

2 Gを設け、第2 指取付部8 2 B 側には半円状の切り込み8 2 Hを設ける。第2 指取付部8 2 B には、両側に半円状の切り込み8 2 J、8 2 Kを設ける。第3 指取付部8 2 C には、両側に半円状の切り込み8 2 L、8 2 Mを設ける。第4 指取付部8 2 D には、第3 指取付部8 2 C 側に切り込み8 2 Nを設け、第3 指取付部8 2 C でない側に段差8 2 Pを設ける。

【0313】

切り込み8 2 H、8 2 J、8 2 K、8 2 L、8 2 M、8 2 Nは、すべて同じ形状である。切り込み8 2 H、8 2 Jの間は、直線で結ぶ。切り込み8 2 M、8 2 Nの間は、直線で結ぶ。切り込み8 2 K、8 2 Lの間は、直線で結ぶ。切り込み8 2 H、8 2 Jと、これらを結ぶ直線をまとめて、掌板本体部8 2 Fに設けた切り込みと考えるとよい。切り込み8 2 K、8 2 Lで1 個の切り込み、切り込み8 2 M、8 2 Nで1 個の切り込みを、掌板本体部8 2 Fに設けていると考えるとよい。

10

【0314】

第1 指取付部8 2 A、第2 指取付部8 2 B、第3 指取付部8 2 Cおよび第4 指取付部8 2 Dの手幅方向の幅は同じであり、切り込みまたは段差を設けた箇所である幅減少部の幅も同じになる。

【0315】

物体を手部9 Aで把持する時に、第1 指部8 3、第2 指部8 4、第3 指部8 5、第4 指部8 6 および対向指取付部8 2 Eが、適度に曲がる。その理由は、第1 指取付部8 2 A、第2 指取付部8 2 B、第3 指取付部8 2 C、第4 指取付部8 2 Dおよび対向指取付部8 2 Eが互いに分離しているからである。また、第1 指取付部8 2 A、第2 指取付部8 2 B、第3 指取付部8 2 Cおよび第4 指取付部8 2 Dは、幅減少部を介して掌板本体部8 2 Fと接続するからである。

20

【0316】

掌板部8 2 の第1 指部8 2 側の側面には、対向指取付部8 2 Eと第1 指取付部8 2 Aとを分離する切り込み8 2 Qを設けている。切り込み8 2 Qは、対向指取付部8 2 E側では手首側の外形線と平行であるが、第1 指取付部8 2 A側では間隔が内部に入るほど狭くなるような直線部分と、対向指取付部8 2 E側と平行な部分とを有する。切り込み8 2 Kは、手幅方向で端から最も遠い部分では半円状である。対向指取付部8 2 Eには、第1 ウォーム8 7 Jを通す貫通穴8 2 Uを設ける。なお、図103では、掌板部8 2に部材を取付けるための穴などは、図示を省略している。

30

【0317】

掌板本体部8 2 Fの掌板接続部8 1 Bが取付けられる箇所には、2 個の切り込み8 2 Rが設けられる。2 個の切り込み8 2 Rで挟まれる部分の掌板本体部8 2 Fを、手首取付部8 2 Sと呼ぶ。掌板接続部8 1 Bは、手首取付部8 2 Sに1 個のねじでねじ留めされ、2 個の切り込み8 2 Rの指先側の掌板本体部8 2 Fにそれぞれ1 個のねじでねじ留めされる。切り込み8 2 Rで挟まれており、手部取付部8 2 Sは幅が狭い。手部取付部8 2 Sを介して手部9 Aを手首板部9 1に取付けるので、指先方向に向かう軸の回りに手部9 Aを適度に回転させることができる。

【0318】

40

掌板本体部8 2 Fは、3 本の直線で折れ曲がっている。折れ曲がった各部分に1 個の普通指部が接続する。そのため、第1 指取付部8 2 A、第2 指取付部8 2 B、第3 指取付部8 2 C、第4 指取付部8 2 Dがそれぞれ接続する部分が、互いに異なる角度になる。折れ曲がる角度は1 か所で6 度程度である。掌板部8 2を折曲げることにより、掌板部8 2で物体を包み込むように把持することが、折曲がりが無い場合よりも容易になる。3 か所の折れ曲がりが発生する線の方向は、指先方向に略平行な方向である。

【0319】

掌板部8 2 の手の平側には、複数の掌肉部8 2 Tが設けられる。掌肉部8 2 Tの形状は、掌板部8 2 から遠い側の角および辺が面取りされた直方体である。掌肉部8 2 Tは、物体を掴んだ場合に物体に掌板部8 2 から加えられる荷重を緩和するためのクッションの役

50

割を果たす。掌肉部82Tは、例えばゴムなど、適度な弾性を持つ材料で製造する。

【0320】

掌肉部82Tは、第1指取付部82A、第2指取付部82B、第3指取付部82C、第4指取付部82Dおよび対向指取付部82Eに、それぞれ1個が設けられる。掌板本体部82Fには、折れ曲がった部分ごとに3個の掌肉部82Tが設けられる。対向指部87が存在する部分の掌板本体部82Fには、掌肉部82Tは設けない。

【0321】

4本の普通指部である第1指部83、第2指部84、第3指部85および第4指部86は、根元側よりも指先側が開くように掌板部82に接続する。図99から分かるように、第2指部84は取付板部81Aに対して垂直で、第2指部84の中心と取付板部81Aの中心は一致している。第1指部83、第2指部84、第3指部85および第4指部86は、同様な構造である。

10

【0322】

手部9Aが手部9と大きく異なる対向指部87から、その構造を説明する。対向指部87は、掌板部82の手の平側に掌板部82と交差する方向に指先が伸びるように設けられる。対向指部87は、第1指部83から第4指部86と向き合うように設けられている。対向指部87は、掌板部82の手首側かつ第1指部83側の角に近い位置に設ける。対向指部87が回転する方向は、第1指部83および第2指部83と交差する方向である。図97に示すように、対向指部87を伸ばした状態で掌板部82との角度を小さくすると、指先が第2指部84に近づく方向に移動する。

20

【0323】

対向指部87は、第1指部83などと同様に、掌板部82に近い側から第1指節部87A、第2指節部87B、第3指節部87Cが直列に接続する。掌板部82と第1指節部87Aとの間には、第1指関節部87Dが存在する。第1指関節部87Dは、第1指節部87Aを掌板部82に回転可能に接続する。第1指節部87Aと第2指節部87Bの間には、第2指関節部87Eが存在する。第2指関節部87Eは、第2指節部87Bを第1指節部87Aに回転可能に接続する。第2指節部87Bと第3指節部87Cの間には、第3指関節部87Fが存在する。第3指関節部87Fは、第3指節部87Cを第2指節部87Bに回転可能に接続する。第1指関節部87D、第2指関節部87Eおよび第3指関節部87Fの回転軸は、互いに平行である。つまり、対向指部87では、第1指関節部87Dが第1指節部87Aを回転させる方向、第2指関節部87Eが第2指節部87Bを回転させる方向、および第3指関節部87Fが第3指節部87Cを回転させる方向が、すべて同じ方向である。対向指部87が常に第1指部83から第4指部86と対向する位置にあり3個の指関節部を有するので、手部9Aは手部9よりも、物体をより適切に掴むことができる。

30

【0324】

掌板部82、第1指節部87A、第2指節部87Bおよび第3指節部87Cの中の隣接する2個に関して、掌板部82に近い側を基部側部材、基部側部材でない側を先端側部材と呼ぶ。第1指関節部87D、第2指関節部87E、第3指関節部87Fは、第1指節部87A、第2指節部87B、第3指節部87Cの何れかである先端側部材を基部側部材に回転可能に接続する3個の指関節部である。第1指部83、第2指部84、第3指部85、第4指部86に関しても同様である。

40

【0325】

対向指部87は、手幅方向には移動できない。つまり、図72から図78に示す手部9のように、対向指部87は掌板部82の側面の位置に移動して、指先を第1指部83から第4指部86と略同じ方向に向けることはできない。対向指部87にさらに1個の指関節部とモータを追加すれば、対向指部87は、手幅方向にも移動させることは可能である。手部9Aでは、指関節部とモータの数を手部9と同じにしている。

【0326】

対向指部87の第1指関節部87Dを回転させる動力源となる指部第1モータ87Hは

50

、掌板部82の手の甲側に垂直に固定する。指部第1モータ87Hの回転軸側には、回転数を変換する第1ギヤヘッド87Tが設けられる。第1ギヤヘッド87Tは、外形が四角柱状である。第1ギヤヘッド87Tと指部第1モータ87Hは、互いに動かないように固定されている。第1ギヤヘッド87Tが掌板部82に垂直に固定される。第1ギヤヘッド87Tを垂直に固定することで、指部第1モータ87Hおよび第1ギヤヘッド87Tを掌板部82に剛性を高くして固定できる。

【0327】

指部第2モータ87Lにも第2ギヤヘッド87Uが固定されている。第2ギヤヘッド87Uも、外形が四角柱状である。他の指の指部第1モータまたは指部第2モータも、それぞれ第1ギヤヘッドまたは第2ギヤヘッドが固定されている。

10

【0328】

指元ヨーク部87Gから指先側の対向指部87は、掌板部82の手の平側に存在する。第1ウォーム87Jに対応する位置には、掌板部82には貫通穴82Uが設けられる。指部第1モータ87Hの回転軸に直結された第1ウォーム87Jは、手の平側の指元ヨーク部87Gにより回転可能に支持される第1ウォームホイール87Kとかみ合い回転させる。

【0329】

第1指関節部87Dは、掌板部82に配置され指部第1モータ87H、指部第1モータ87Hにより回転する第1ウォーム87J、第1ウォーム87Jとかみ合い第1指節部87Aと共に第1指関節部87Dの回転軸の回りを回転する第1ウォームホイール87Kを有するウォームギヤ機構により第1指節部87Aを掌板部82に対して回転させる。

20

【0330】

対向指部87が大きな力で物体を掴む場合には、反作用として第1ウォームホイール87Kを回転させる力も大きくなる。第1ウォームホイール87Kを回転しないようにする力を指部第1モータ87Hが出す。指部第1モータ87Hが強固に掌板部82に固定されていないと、第1ウォームホイール87Kを回転させる力により、指部第1モータ87Hおよび第1ギヤヘッド87Tが掌板部82から剥がれてしまう。指部第1モータ87Hおよび第1ギヤヘッド87Tを掌板部82に垂直にすることで、指部第1モータ87Hを掌板部82から分離させようとする力に対抗する力を発生させやすくなる。

【0331】

30

第1指節部87Aは、第1ホイール連動部87AAと、第1ヨーク部87ABと、第2モータ設置部87ACとで構成される。第1ホイール連動部87AAは、第1ウォームホイール87Kを挟んでと共に回転する箱状の部材である。第1ヨーク部87ABは、第2指関節部87Eの回転軸を挟んで保持する部材である。第1ホイール連動部87AAの長さは、対向指部87の指先と普通指部の指先との間で物体を挟める程度の長さとする。

【0332】

第2モータ設置部87ACには、指部第2モータ87Lが設置される。第2モータ設置部87ACは、第1ヨーク部87ABに接して手首側に存在する部材である。第1ホイール連動部87AAと、第2モータ設置部87ACとは一体に製造される。第1ホイール連動部87AAは、対向指部87の側面から見ると第2指関節部87Eの側が幅広の多角形である。第1ホイール連動部87AAには、第2指関節部87Eの側に2枚の板材である第1ヨーク部87ABがねじ止めされる。第1ヨーク部87ABの先端には、突起87ADが設けられる。突起87ADは、第2指関節部87Eが手の甲側への回転を許容回転角度に制限するストッパである。

40

【0333】

第2モータ設置部87ACは、第1ヨーク部87ABに垂直なモータ設置面と、第1ヨーク部87ABよりも間隔が広く第1ヨーク部87ABに平行な側面と、第1ホイール連動部87AAと接続する底面とを有する。側面はモータ設置面よりも高さが低く、指元側の角が大きく面取りされている。設置面の上側の角も面取りされている。モータ設置面には、指部第2モータ87Lおよび第2ギヤヘッド87Uが垂直に固定される。モータ設置

50

面には貫通穴が設けられており、第2 ギヤヘッド87Uの回転軸がこの貫通穴を通る。

【0334】

指部第2 モータ87Lの回転軸には、第2 ウォーム87Mが取り付けられる。第2 ウォーム87Mは、第1 ヨーク部87ABに回転可能に保持される第2 ウォームホイール87Nとかみ合う。第2 ウォーム87Mと第2 ウォームホイール87Nとによるウォームギヤ機構により、指部第2 モータ87Lの回転が第2 指関節部87Eを回転の軸として、第2 指節部87Bが第1 指節部87Aに対して回転する。

【0335】

第2 指節部87Bは、第2 ウォームホイール87Nを挟んで保持し、第2 ウォームホイール87Nと共に回転する。第2 指節部87Bは、2枚の板材である。第2 指節部87Bの第3 指節部87C側の端部には、第3 指関節部87Fの回転軸が設けられる。第2 指節部87Bは、厚さは一定である。第2 指節部87Bは、第2 ウォームホイール87Nを挟み第1 ヨーク部87ABで挟まれる部分、中間部分、第3 指関節部87Fの回転軸が設けられる部分で、小さい段差を有する階段状になっている。2枚の第2 指節部87Bの間隔は、第2 指関節部87Eの側で狭く、第3 指関節部87Fの側で広い。第1 ヨーク部87ABの先端に設けたストッパ87ADは、第1 ヨーク部87ABで挟まれる部分と側面が接する。中間部分との間に存在する第2 指節部87Bの段差にストッパ87ADが当たること、第2 関節部87Eが手の平と反対側に回転する角度が制限される。

【0336】

第2 指関節部87Eは、第1 指節部87Aに配置され指部第2 モータ87L、指部第2 モータ87Lにより回転する第2 ウォーム87M、第2 ウォーム87Mとかみ合い第2 指節部87Bと共に第2 指関節部87Eの回転軸の回りを回転する第2 ウォームホイール87Nを有するウォームギヤ機構により第2 指関節部87Eを第1 指節部87Aに対して回転させる。

【0337】

図104を参照して、第2 指関節部87Eに連動させて第3 指関節部87Fを回転させるギヤについて説明する。図104は、対向指部87の第2 指節部87B付近を拡大した斜視図である。第2 指節部87Bには、第2 指関節部87Eの回転に連動して第3 指関節部87Fを回転させるための複数のギヤが設けられる。第2 指節部87Bの外側に存在するイドラギヤ87Rは、第1 ヨーク部87ABの先端に設けられた部分ギヤ87Qとかみ合う。イドラギヤ87Rと部分ギヤ87Qの組は、第2 指節部87Bの両側面に存在する。イドラギヤ87Rは、部分ギヤ87Qとかみ合うことで、第2 ウォームホイール87Nと同じ回転方向に回転する。イドラギヤ87Rは指先側でイドラ外ギヤ87SAとかみ合う。イドラ外ギヤ87SAの回転軸には、第2 指節部87Bに挟まれてイドラ内ギヤ87SBが固定されている。イドラ外ギヤ87SAおよびイドラ内ギヤ87SBは、イドラギヤ87Rとは反対方向に回転する。イドラ外ギヤ87SAおよびイドラ内ギヤ87SBは、同じ回転軸の周りに回転する。イドラ内ギヤ87SBは、第3 指節部87ACと共に第3 指関節部87Fの回転軸の回りを回転する第3 指節駆動歯車87Pとかみ合う。第3 指節駆動歯車87Pは、イドラ内ギヤ87SBとは反対側に回転する。第3 指節駆動歯車87Pは、第2 ウォームホイール87Nと同じ方向に回転する。第2 ウォームホイール87Nと第3 指節駆動歯車87Pの間のギヤ比は、1に近い適切な値になるように調整する。

【0338】

イドラギヤ87Rは、第2 指関節部87Bの回転と連動して回転する歯車である。イドラ外ギヤ87SA(イドラ内ギヤ87SBも含む)は、イドラギヤ87Rにより駆動される奇数個の回転軸で回転する歯車である。第3 指節駆動歯車87Pは、イドラ内ギヤ87SBにより駆動される第3 指関節部87Fに設けられた歯車である。

【0339】

第3 指節部87Cは、指先部87CAと、指先基部87CBとで構成する。指先部87CAは、円筒の先端に半球が接続した形状である。指先基部87CBは、第3 指節駆動歯

10

20

30

40

50

車87Pと共に回転する部材である。指先基部87CBの指先側には、角が丸い長方形の板状の部材が設けられる。この板状の部材に、指先部87CAが取付けられる。そのため、指先部87CAを用途に合わせた形状のものに容易に取り替えることができる。

【0340】

第1指部83は、指部第1モータ83Hも含めて手の甲側にすべての部材が存在する。指部第1モータ83Hは、第1モータ固定部83Vに取付けられる。第1モータ固定部83Vは、直方体状の箱体である。第1モータ固定部83Vは、第1指取付部82Aに取付けられる。第1モータ固定部83Vは、指先側の面と第1指取付部82A側の面は、開口している。指元側には補強のためのリブが設けられており、側面から見ると指元側の辺は斜めに見える。第1モータ固定部83Vは、掌板部82Bに垂直であり、掌板部82Bに平行な面に指部第1モータ83Hおよび第1ギヤヘッド83Tが取付けられる。第1モータ固定部83Vと掌板部82Bの間に、第1ギヤヘッド83Tの回転軸に取付けられた第1ウォーム83Jが入る。

10

【0341】

指部第1モータ83Hを第1モータ固定部83Vに垂直に固定することで、指部第1モータ83Hと第1モータ固定部83Vとを剛性を高くして固定できる。

【0342】

第1ウォーム83Jは、指元ヨーク部83Gに保持される回転軸の回りに回転する第1ウォームホイール83Kとかみ合う。第1指節部83Aは、第1ウォームホイール83Kと共に第1指関節部83Dの回りを回転する。

20

【0343】

第1指節部83Aから指先側の構造は、対向指部87と同様である。第1ホイール連動部83AAの長さは、対向指部87の第1ホイール連動部87AAよりも短い。

第2指部84、第3指部85および第4指部86の構造は、第1指部83の構造と同様である。

【0344】

動作を説明する。手部9Aは、各指部の第1指関節部、第2指関節部が指定された角度になるように、各指関節部のウォームギヤが指定された角度に対応する位置になるように、モータが駆動される。

【0345】

30

各指関節部は、ウォームとウォームホイールを使用するウォームギヤ機構で駆動するようにしたので、指曲げの力を大きくすることができる。第1指関節部および第2指関節部をそれぞれウォームギヤ機構で駆動するので、第1指関節部と第2指関節部のどちらか一方だけを曲げたり、両方を曲げたりできる。また、電源供給が遮断された場合にも、ウォームギヤ機構により把持力を維持できる。

【0346】

対向指部87は、第1指関節部87Dに加えて、第1指関節部87Dと平行な回転軸を有する第2指関節部87Eおよび第3指関節部87Fも有するので、図102に示すように、第2指関節部87Eを曲げて物体を保持することができる。第1指関節部87Dだけを曲げて、第2指関節部87Eおよび第3指関節部87を伸ばして紙のような薄い物体を持つこともできる。

40

【0347】

手部9では、第1ウォーム93Jが第1指節部93Aよりも掌板部92の側に出ている。それに対して、手部9Aでは、第1ウォーム83Jは手の甲側に存在する。第1指節83では、第1指節部83A、第2指節部83Bおよび第1指節部83Cが掌板部92に面している。第1指節83などと掌板部92との間で物体を保持する際に、第1ウォーム83Jなどが物体と接触することを防ぐ部材などが不要になり、手部9Aは手部9よりも構造が簡単になる。

【0348】

第1指部83、第2指部84、第3指部85および第4指部86を、同じ構造としたが

50

、指により構造を変更してもよい。ウォームギヤ機構を有するすべての指関節部で、モータで駆動されるウォームを基部側部材に対して垂直としたが、少なくとも1本の指部の少なくとも1個のウォームギヤ機構で基部側部材に対して垂直としてもよい。

【0349】

3個の指関節部を有する対向指部を、対向可能指部のように掌板部に対して手幅方向に回転可能にしてもよい。

以上のことは、他の実施の形態にもあてはまる。

【0350】

実施の形態6.

実施の形態6は、対向指部の替わりに手幅方向に指全体が回転する手幅回転指を有する手部を人型ロボットが有するように実施の形態5を変更した場合である。図105は、実施の形態6に係る人型ロボットが有する左の手部9Bを手幅回転指部88が伸びた状態で手の甲側から見た斜視図である。図106は、左の手部9Bを手幅回転指部88が掌板部82に交差する方向を向いた状態で手の甲側から見た斜視図である。図107、図108、図109、図110、および図111は、手幅回転指部88が伸びた状態での左の手部9Bの正面図、第1指部83が存在する側から見た側面図、背面図、第4指部86が存在する側から見た側面図、および指先側から見た側面図である。図112、図113、図114、図115、および図116は、手幅回転指部88が掌板部82に交差する方向を向いた状態での左の手部9Bの正面図、第1指部83が存在する側から見た側面図、背面図、第4指部86が存在する側から見た側面図、および指先側から見た側面図である。図117と図118は、手幅回転指部88を拡大した斜視図である。図117は、手幅回転指部88が伸びた状態での斜視図である。図118は、手幅回転指部88が掌板部82に交差する方向を向いた状態での斜視図である。

【0351】

図105から図118では、手首板部91までを図示している。掌板部82、第1指部83、第2指部84、第3指部85および第4指部86は、実施の形態1の場合と同じ構成である。これらの図では、実施の形態5の図95から図105では省略していたカバーなども図示している。

【0352】

第1指節カバー83Xは、第1ヨーク部83ABを第1ホイール連動部83AAに取付ける部分を覆うカバーである。第1指節カバー83Xは、一辺の中央に略長方形の突起を有する略長方形の板材をUの字状に曲げた部材である。第1指節カバー83Xは、手の平側から第1指節部83Aに被せる。略長方形の突起の部分は角を丸くしており、途中で段差ができるように折り曲げている。

【0353】

第2指節カバー83Yは、第2ウォームホイール83K、2枚の第2指節部83Bに挟まれない側に存在する部分ギヤ83Q、アイドラギヤ83Rおよびアイドラ外ギヤ83SAなどを覆うカバーである。第2指節カバー83Yは、第1指節カバー83Xと同様な形状である。第1指部83に沿う方向の長さは、第2指節カバー83Yの方が、第1指節カバー83Xよりも長い。

【0354】

第2ウォームカバー83Zは、第2ウォーム83Mを手の甲側から覆うカバーである。第2ウォームカバー83Zは、一方の側にだけ底があり他方にフランジを有する円筒を軸方向に半分に切ったような形状である。円筒の部分の内部に、第2ウォーム83Mが存在する。第2モータ設置部83ACのモータ設置面の裏側の面に、フランジを取付ける。フランジの外形は、モータ設置面と同じような形状である。

【0355】

手部9Aと異なる点を説明する。手部9Bは、対向指部87の替わりに手幅回転指部88を有する。手幅回転指部88は、手幅方向に指全体が回転可能に掌板部82に取付けられる。手幅回転指部88は、対向指部87と同様な位置で掌板部82に取付けられる。手

幅回転指部88は、掌板部82の一部である手幅回転指取付部82Vに取付けられる。手幅回転指取付部82Vは、対向指部指取付部82Eと同様に、指先方向の手首側であり手幅方向では第1指取付部82A側である掌板部82の角に存在する。手幅回転指取付部82Vの形状は、対向指部指取付部82Eと同様な形状である。

【0356】

手幅回転指部88は、指元ヨーク部88Gから指先側は対向指部87と同じ構造である。手幅回転指部88と対向指部87とが異なるのは、掌板部82への取付け方向だけである。

【0357】

手幅回転指部88は、手幅方向に回転するように、2面が開いた箱状の手幅指元部88Wを介して掌板部82に取付けられる。手幅指元部88Wは、手幅回転指取付部82Vの手の甲側に、手首に向かうように20度程度の角度を持たせて取付ける。指部第1モータ88Hおよび第2ギヤヘッド88Tは、手幅指元部88Wの内部に収納され、手幅指元部88Wの手幅方向の面であるモータ設置面に取付けられる。モータ設置面には貫通穴があり、第2ギヤヘッド88Tの回転軸が貫通穴を通る。モータ設置面の外面には、指元ヨーク部88Gが取付けられる。指元ヨーク部88Gは、その軸部材がモータ設置面に平行であり掌板部82に対して約65度の角度をなすように取付けられる。そうすることで、手幅回転指部88を伸ばした状態で第1指関節部88Dを回転させた場合に、第3指節部88Cが掌板部82よりも指先側に位置して、手幅回転指部88と掌板部82との間に物体を保持しやすい。手幅指元部88Wは、モータ設置面および掌板部82への取付面の両側に側面を有する。2個の側面の角は大きく直線で切取った形状である。手幅指元部88Wの側面は、上底が短く下底に垂直な辺を有する台形状である。手首側の側面の方が、掌板部82への取付面の側の辺が短い。

【0358】

手幅回転指部88は、対向指部87と同様に、第1指節部88Aが第1指節部83Aなどよりも長い。そのため、第1指節カバー83Xは、第2指節カバー83Yよりも長い。

【0359】

動作を説明する。手部9Bは、各指部の第1指関節部、第2指関節部が指定された角度になるように、各指関節部のウォームギヤが指定された角度に対応する位置になるように、モータが駆動される。

【0360】

各指関節部は、ウォームとウォームホイールを使用するウォームギヤ機構で駆動するようにしたので、指曲げの力を大きくすることができる。第1指関節部および第2指関節部をそれぞれウォームギヤ機構で駆動するので、第1指関節部と第2指関節部のどちらか一方だけを曲げたり、両方を曲げたりできる。また、電源供給が遮断された場合にも、ウォームギヤ機構により把持力を維持できる。

【0361】

手幅方向に回転する手幅回転指部88を備えることで、手幅回転指部88を伸ばした際の手部9Bの手幅方向の長さが手部9Aよりも大きくなる。そのため、手部9Bの方が手部9Aよりも大きな物体を保持することができる。掌板部82を上側に向けて、左右の手部9Bが同じ高さに並ぶようにすれば、両手で大きな物体を持つこともできる。

【0362】

本発明はその発明の精神の範囲内において各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の変形や省略が可能である。

【符号の説明】

【0363】

100、100X、100Y、100Z 人型ロボット

1 体幹部

2 頭部(第2部材)

2A 頭部基準板

10

20

30

40

50

3	上肢部	
4、4 X	下肢部	
5	胸部(第1 部材、第2 部材)	
5 U	胸上部	
5 D	胸下部	
6	腰部(第1 部材)	
7	上腕部	
7 A	アクチュエータ保持具	
8	前腕部(第1 部材、捻り軸)	
9、9 A、9 B	手部(第2 部材)	10
1 0、1 0 X	大腿部(第2 部材)	
1 0 A	大腿骨部(捻り軸)	
1 0 B	膝部側リンク取付板	
1 0 C	膝部接続フレーム	
1 0 D	大腿部側補助具取付部	
1 1、1 1 X	下腿部	
1 2、1 2 Y	足部	
1 2 A	足本体部	
1 2 B	つま先部	
1 2 C	つま先関節部	20
1 2 D	かかと車輪部	
1 2 E	足側面車輪部	
1 3	肩関節部	
1 4	上腕部駆動主アクチュエータ	
1 4 L	上腕部駆動主リンク	
1 4 M	モータ(動力源)	
1 5	上腕部駆動補助アクチュエータ	
1 5 L	上腕部駆動補助リンク	
1 5 M	モータ(動力源)	
1 6	胸部内関節部	30
1 7	胸部内アクチュエータ	
1 7 L	胸部内リンク	
1 7 M	モータ(動力源)	
1 8	胸腰部関節部	
1 9	胸腰部中央アクチュエータ	
1 9 A	ねじ棒	
1 9 B	ナット	
1 9 C	円筒	
1 9 D	ナット 位置固定部	
1 9 E	ナット 回転保持部	40
1 9 F	ナットギヤ	
1 9 G	駆動ギヤ	
1 9 L	胸腰部中央リンク(可変長リンク)	
1 9 Z	胸腰部中央アクチュエータ	
1 9 L Z	胸腰部中央リンク(可変長リンク)	
1 9 H	シリンダ	
1 9 J	ピストン	
1 9 K	配管	
1 9 N	ポンプ	
1 9 P	第1 の部屋	50

1 9 Q	第2 の部屋	
1 9 M	モータ (動力源)	
2 0	胸腰部右アクチュエータ	
2 0 L	胸腰部右リンク (可変長リンク)	
2 0 M	モータ (動力源)	
2 1	胸腰部左アクチュエータ	
2 1 L	胸腰部左リンク (可変長リンク)	
2 1 M	モータ (動力源)	
2 2	股関節部	
2 3	大腿部正面アクチュエータ	10
2 3 L	大腿部正面リンク (可変長リンク)	
2 3 M	モータ	
2 4	大腿部外側アクチュエータ	
2 4 L	大腿部外側リンク (可変長リンク)	
2 4 M	モータ (動力源)	
2 5	大腿部内側アクチュエータ	
2 5 L	大腿部内側リンク (可変長リンク)	
2 5 M	モータ (動力源)	
2 6	首部中心棒 (捻り軸)	
2 7	首関節部	20
2 8	首部背面アクチュエータ	
2 8 L	首部背面リンク (可変長リンク)	
2 8 M	モータ (動力源)	
2 8 N	リンク取付具	
2 9	首部右側アクチュエータ	
2 9 L	首部右側リンク (可変長リンク)	
2 9 M	モータ (動力源)	
2 9 N	リンク取付具	
3 0	首部左側アクチュエータ	
3 0 L	首部左側リンク (可変長リンク)	30
3 0 M	モータ (動力源)	
3 0 N	リンク取付具	
3 1	肘関節部	
3 2	肘部駆動外側リンク	
3 3	肘部駆動内側リンク	
3 4	上腕部外側アクチュエータ	
3 4 A	ねじ棒	
3 4 B	ナット	
3 4 C	レール	
3 4 D	把持部	40
3 4 M	モータ (動力源)	
3 5	上腕部内側アクチュエータ	
3 5 A	ねじ棒	
3 5 B	ナット	
3 5 C	レール	
3 5 D	把持部	
3 5 M	モータ (動力源)	
3 6	手首関節部	
3 7	前腕部正面アクチュエータ	
3 7 L	前腕部正面リンク (可変長リンク)	50

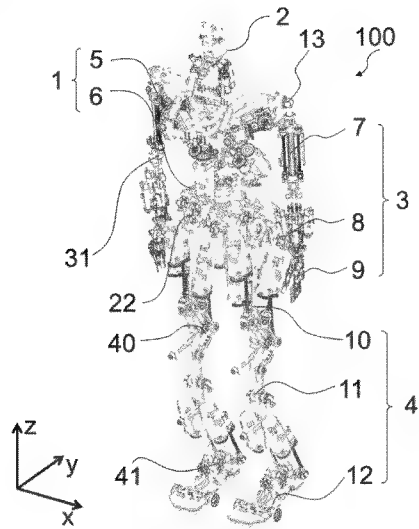
3 7 M	モータ(動力源)	
3 7 N	リンク取付具	
3 8	前腕部外側アクチュエータ	
3 8 L	前腕部外側リンク(可変長リンク)	
3 8 M	モータ(動力源)	
3 8 N	リンク取付具	
3 9	前腕部内側アクチュエータ	
3 9 L	前腕部内側リンク(可変長リンク)	
3 9 M	モータ(動力源)	
3 9 N	リンク取付具	10
4 0、4 0 X	膝関節部	
4 1	足首関節部	
4 1 A	左右回転ヨーク	
4 1 B	前後回転ヨーク	
4 2	膝部駆動アクチュエータ	
4 2 L	膝部駆動リンク	
4 2 M	モータ(動力源)	
4 3	大腿部側補助具	
4 4	下腿部側補助具	
4 5	下腿部外側アクチュエータ	20
4 5 L	下腿部外側リンク	
4 5 M	モータ(動力源)	
4 6	下腿部内側アクチュエータ	
4 6 L	下腿部内側リンク	
4 6 M	モータ(動力源)	
4 7	つま先部駆動アクチュエータ	
4 7 L	つま先部駆動リンク	
4 7 M	モータ(動力源)	
5 1	肩部フレーム	
5 2	胸郭部フレーム	30
5 3	胸郭部前後連結フレーム	
5 4	胸部中央連結フレーム	
5 5	胸部内関節部フレーム	
5 6	背骨部(捻り軸、連結棒)	
5 6 T	胸内回転軸部	
5 7	リンク取付用フレーム	
5 8	首下部フレーム	
6 1	腰部主フレーム	
6 2	下肢部接続フレーム	
6 3	腰部カバー	40
6 4	突起	
6 5	突起	
6 6	突起	
6 7	突起	
8 1	手首取付部	
8 1 A	取付板部	
8 1 B	掌板接続部	
8 2	掌板部(基部)	
8 2 A	第1指取付部(指根元部)	50

8 2 B	第2 指取付部(指根元部)	
8 2 C	第3 指取付部(指根元部)	
8 2 D	第4 指取付部(指根元部)	
8 2 E	対向指部指取付部(指根元部)	
8 2 F	掌板本体部(本体部)	
8 2 G、8 2 P	段差	
8 2 H、8 2 J、8 2 K、8 2 L、8 2 M、8 2 N、8 2 Q、8 2 R	切り込み	
8 2 S	手首取付部	
8 2 T	掌肉部	
8 2 U	貫通穴	10
8 2 V	手幅回転指取付部(指根元部)	
8 3	第1 指部(普通指部)	
8 4	第2 指部(普通指部)	
8 5	第3 指部(普通指部)	
8 6	第4 指部(普通指部)	
8 7	対向指部	
8 8	手幅回転指部	
8 3 A、8 4 A、8 5 A、8 6 A、8 7 A、8 8 A	第1 指節部	
8 3 A A、8 4 A A、8 5 A A、8 6 A A、8 7 A A、8 8 A A	第1 ホイール連動部	
8 3 A B、8 4 A B、8 5 A B、8 6 A B、8 7 A B、8 8 A B	第1 ヨーク部	20
8 3 A C、8 4 A C、8 5 A C、8 6 A C、8 7 A C、8 8 A C	第2 モータ設置部	
8 3 A D、8 4 A D、8 5 A D、8 6 A D、8 7 A D、8 8 A D	突起	
8 3 B、8 4 B、8 5 B、8 6 B、8 7 B、8 8 B	第2 指節部	
8 3 C、8 4 C、8 5 C、8 6 C、8 7 C、8 8 C	第3 指節部	
8 3 C A、8 4 C A、8 5 C A、8 6 C A、8 7 C A、8 8 C A	指先部	
8 3 C B、8 4 C B、8 5 C B、8 6 C B、8 7 C B、8 8 C B	指先基部	
8 3 D、8 4 D、8 5 D、8 6 D、8 7 D、8 8 D	第1 指関節部	
8 3 E、8 4 E、8 5 E、8 6 E、8 7 E、8 8 E	第2 指関節部	
8 3 F、8 4 F、8 5 F、8 6 F、8 7 F、8 8 F	第3 指関節部	
8 3 G、8 4 G、8 5 G、8 6 G、8 7 G、8 8 G	指元ヨーク部	30
8 3 H、8 4 H、8 5 H、8 6 H、8 7 H、8 8 H	指部第1 モータ	
8 3 J、8 4 J、8 5 J、8 6 J、8 7 J、8 8 J	第1 ウォーム	
8 3 K、8 4 K、8 5 K、8 6 K、8 7 K、8 8 K	第1 ウォームホイール	
8 3 L、8 4 L、8 5 L、8 6 L、8 7 L、8 8 L	指部第2 モータ	
8 3 M、8 4 M、8 5 M、8 6 M、8 7 M、8 8 M	第2 ウォーム	
8 3 N、8 4 N、8 5 N、8 6 N、8 7 N、8 8 N	第2 ウォームホイール	
8 3 P、8 4 P、8 5 P、8 6 P、8 7 P、8 8 P	第3 指節駆動歯車	
8 3 Q、8 4 Q、8 5 Q、8 6 Q、8 7 Q、8 8 Q	部分ギヤ	
8 3 R、8 4 R、8 5 R、8 6 R、8 7 R、8 8 R	アイドラギヤ	
8 3 S A、8 4 S A、8 5 S A、8 6 S A、8 7 S A、8 8 S A	アイドラ外ギヤ	40
8 3 S B、8 4 S B、8 5 S B、8 6 S B、8 7 S B、8 8 S B	アイドラ内ギヤ	
8 3 T、8 4 T、8 5 T、8 6 T、8 7 T、8 8 T	第1 ギヤヘッド	
8 3 U、8 4 U、8 5 U、8 6 U、8 7 U、8 8 T	第2 ギヤヘッド	
8 3 V、8 4 V、8 5 V、8 6 V	第1 モータ固定部	
8 8 W	手幅指元部	
8 3 X、8 4 X、8 5 X、8 6 X、8 8 X	第1 指節カバー	
8 3 Y、8 4 Y、8 5 Y、8 6 Y、8 8 Y	第2 指節カバー	
8 3 Z、8 4 Z、8 5 Z、8 6 Z、8 8 Z	第2 ウォームカバー	
9 1	手首板部	50

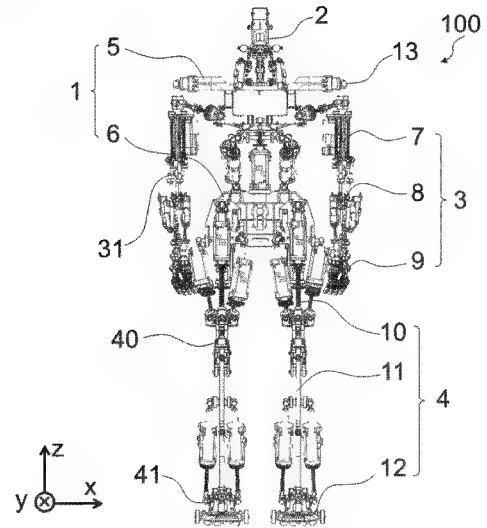
9 8	手部取付部	
9 8 A	取付板部	
9 8 B	掌板接続部	
9 2	掌板部(基部)	
9 3	第1 指部(普通指部)	
9 4	第2 指部(普通指部)	
9 5	第3 指部(普通指部)	
9 6	第4 指部(普通指部)	
9 7	対向可能指部	
9 7 T	第1 指節元部	10
9 7 U	第1 指節先部	
9 3 A、9 4 A、9 5 A、9 6 A、9 7 A	第1 指節部	
9 3 B、9 4 B、9 5 B、9 6 B、9 7 B	第2 指節部	
9 3 C、9 4 C、9 5 C、9 6 C、9 7 C	第3 指節部	
9 3 D、9 4 D、9 5 D、9 6 D、9 7 D	第1 指関節部	
9 3 E、9 4 E、9 5 E、9 6 E、9 7 E	第2 指関節部	
9 3 F、9 4 F、9 5 F、9 6 F、9 7 F	第3 指関節部	
9 3 G、9 4 G、9 5 G、9 6 G、9 7 G	指元ヨーク部	
9 3 H、9 4 H、9 5 H、9 6 H、9 7 H	指部第1 モータ	
9 3 J、9 4 J、9 5 J、9 6 J、9 7 J	第1 ウォーム	20
9 3 K、9 4 K、9 5 K、9 6 K、9 7 K	第1 ウォームホイール	
9 3 L、9 4 L、9 5 L、9 6 L、9 7 L	指部第2 モータ	
9 3 M、9 4 M、9 5 M、9 6 M、9 7 M	第2 ウォーム	
9 3 N、9 4 N、9 5 N、9 6 N、9 7 N	第2 ウォームホイール	
9 3 P、9 4 P、9 5 P、9 6 P、9 7 P	第3 指節駆動歯車	
9 3 Q、9 4 Q、9 5 Q、9 6 Q、9 7 Q	アイドラギヤ	
9 3 R、9 4 R、9 5 R、9 6 R、9 7 R	アイドラギヤ	
9 3 S、9 4 S、9 5 S、9 6 S、9 7 S	アイドラギヤ	
J 1	胸側主リンク取付部	30
J 2	胸側補助リンク取付部	
J 3	下側胸部内リンク取付部	
J 4	上側胸部内リンク取付部	
J 5	胸部中央リンク取付部(第2 部材側リンク取付部)	
J 6	胸部右リンク取付部(第2 部材側リンク取付部)	
J 7	胸部左リンク取付部(第2 部材側リンク取付部)	
J 8	腰部右リンク取付部(第1 部材側リンク取付部)	
J 9	腰部左リンク取付部(第1 部材側リンク取付部)	
J 1 0	腰部中央リンク取付部(第1 部材側リンク取付部)	
J 1 1	股部正面リンク取付部(第1 部材側リンク取付部)	40
J 1 2	股部外側リンク取付部(第1 部材側リンク取付部)	
J 1 3	股部内側リンク取付部(第1 部材側リンク取付部)	
J 1 4	首部背面リンク取付部(第1 部材側リンク取付部)	
J 1 5	首部右側リンク取付部(第1 部材側リンク取付部)	
J 1 6	首部左側リンク取付部(第1 部材側リンク取付部)	
J 1 7	頭部背面リンク取付部(第2 部材側リンク取付部)	
J 1 8	頭部右側リンク取付部(第2 部材側リンク取付部)	
J 1 9	頭部左側リンク取付部(第2 部材側リンク取付部)	
J 2 0	上腕部主リンク取付部	
J 2 1	主リンク側補助リンク取付部	50

J 2 2	上腕部外側リンク取付部(上腕側リンク取付部)	
J 2 3	上腕部内側リンク取付部(上腕側リンク取付部)	
J 2 4	肘部駆動内側リンク取付部(前腕側主リンク取付部)	
J 2 5	肘部駆動外側リンク取付部(主リンク側補助リンク取付部)	
J 2 6	前腕部正面リンク取付部(第1部材側リンク取付部)	
J 2 7	前腕部外側リンク取付部(第1部材側リンク取付部)	
J 2 8	肘部駆動内側リンク取付部(第1部材側リンク取付部)	
J 2 9	手部側正面リンク取付部(第2部材側リンク取付部)	
J 3 0	手部側外側リンク取付部(第2部材側リンク取付部)	
J 3 1	手部側内側リンク取付部(第2部材側リンク取付部)	10
J 3 2	膝部正面リンク取付部(第2部材側リンク取付部)	
J 3 3	膝部外側リンク取付部(第2部材側リンク取付部)	
J 3 4	膝部内側リンク取付部(第2部材側リンク取付部)	
J 3 5	膝部駆動リンク取付部	
J 3 6	大腿部側補助具取付部	
J 3 7	膝部駆動リンク補助具接続部	
J 3 8	下腿部側補助具取付部	
J 3 9	下腿部外側リンク取付部(下腿部側リンク取付部)	
J 4 0	下腿部内側リンク取付部(下腿部側リンク取付部)	
J 4 1	足部外側リンク取付部(足部側リンク取付部)	20
J 4 2	足部内側リンク取付部(足部側リンク取付部)	
J 4 3	足本体部側リンク取付部	
J 4 4	つま先部側リンク取付部	
C 1	胸屈曲部	
C 2	胴体屈曲部(3回転自由度接続機構)	
C 3	首部(3回転自由度接続機構)	
C 4	肩部	
C 5	肘部	
C 6	手首部(3回転自由度接続機構)	30
C 7	股部(3回転自由度接続機構)	
C 8	膝部	
C 9	足首部	
C 1 0	足内屈曲部	
G 1、G 2、G 3	捻り軸	
L 1、L 2、L 3	可変長リンク	
T 1、T 2、T 3、T 4	第2部材側三角形	
R x1	肩関節部1 3の回転軸	
R z2	肘関節部2 2の回転軸	

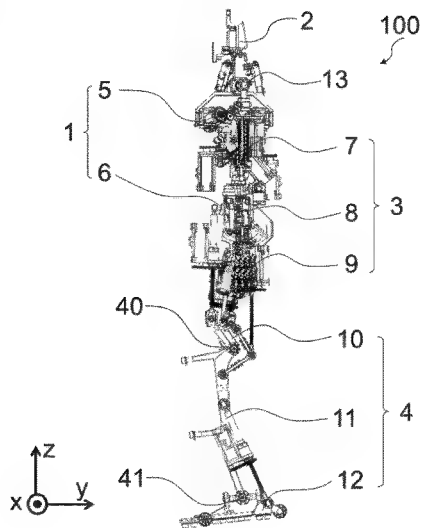
【 図 1 】



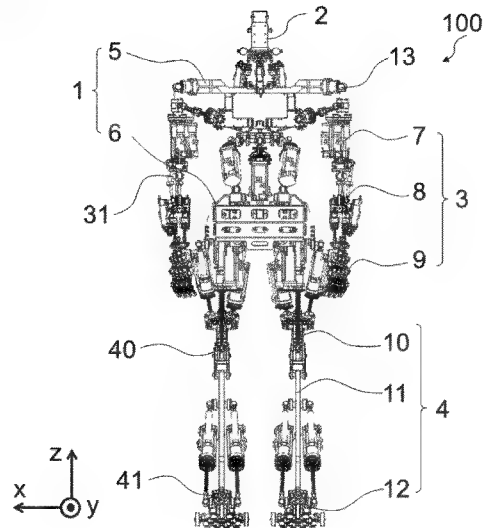
【 図 2 】



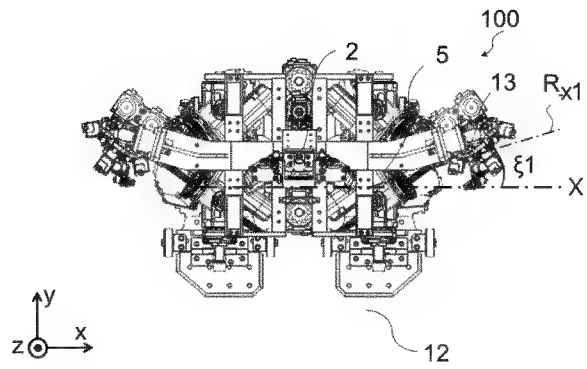
【 図 3 】



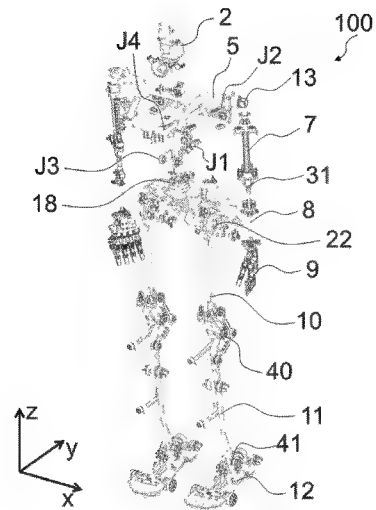
【 図 4 】



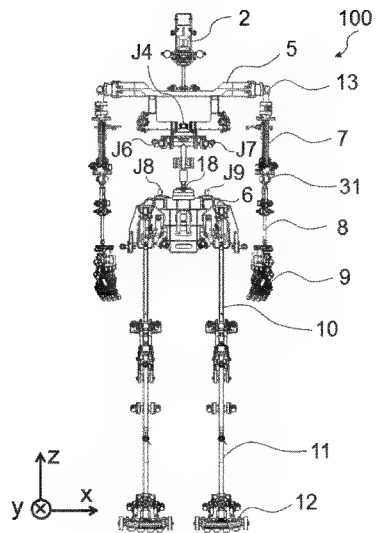
【 図 5 】



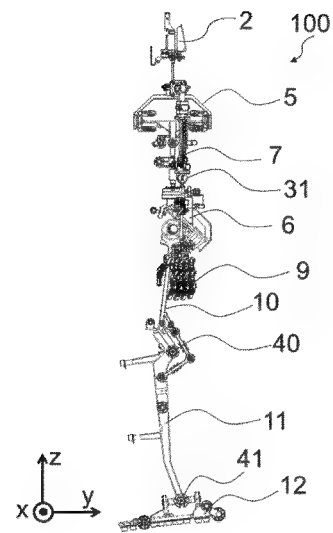
【 図 6 】



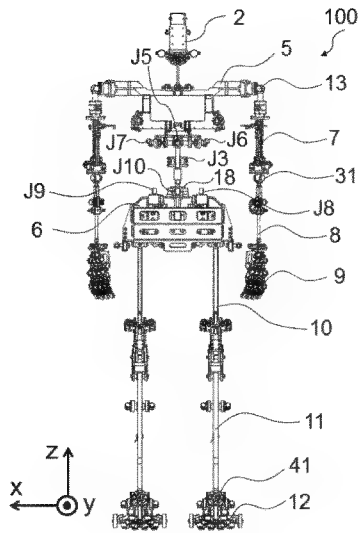
【 図 7 】



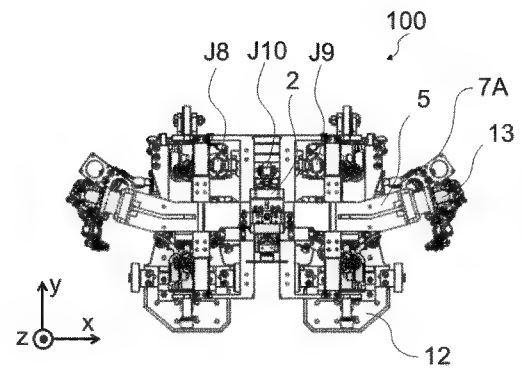
【 図 8 】



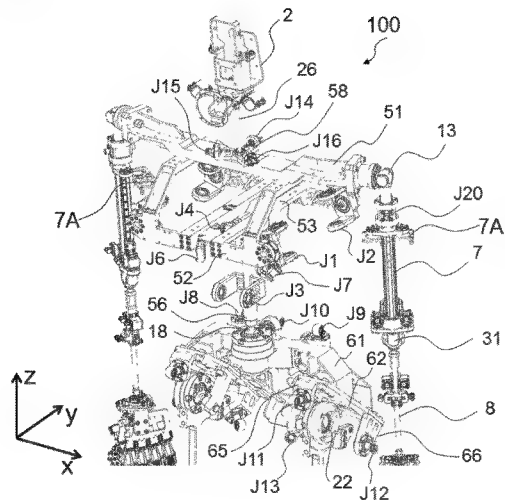
【 図 9 】



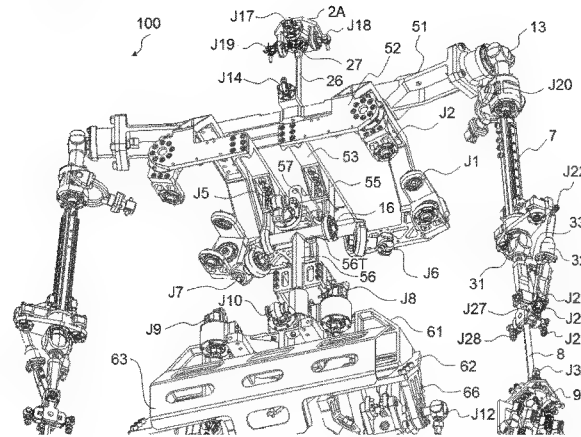
【 図 1 0 】



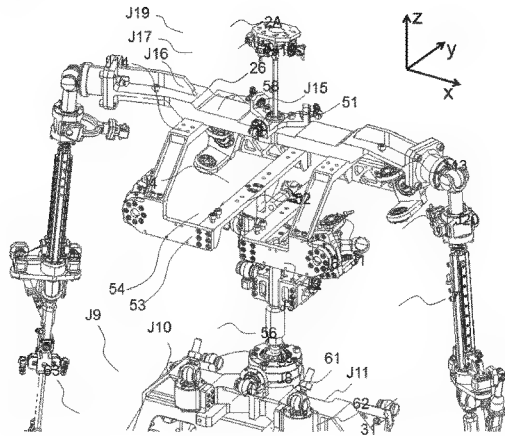
【 図 1 1 】



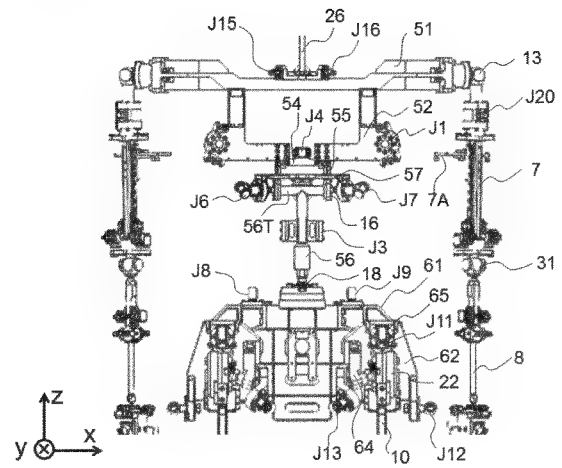
【 図 1 2 】



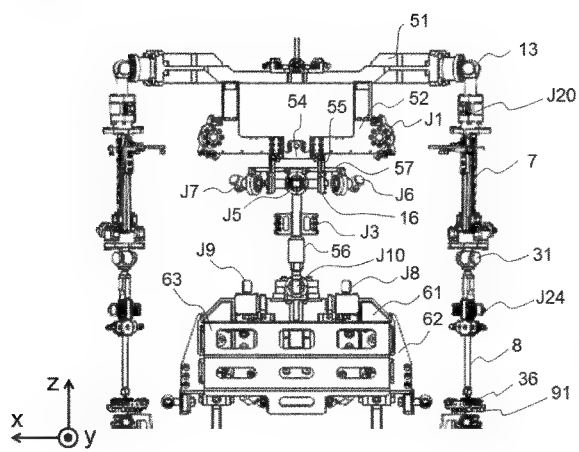
【 図 1 3 】



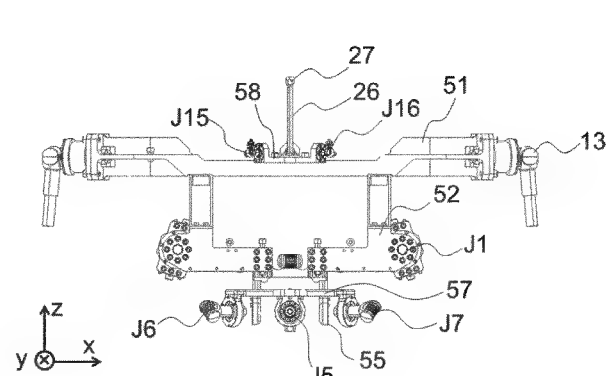
【 図 1 4 】



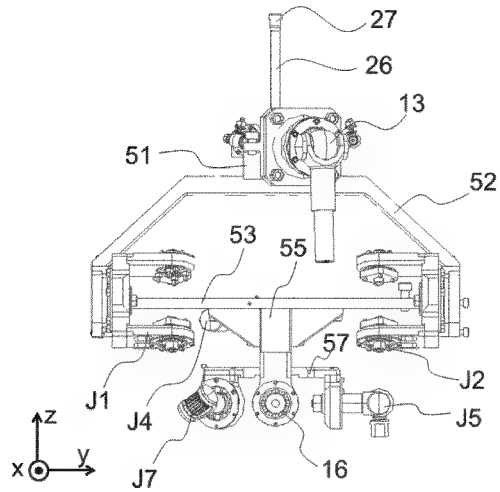
【 図 1 5 】



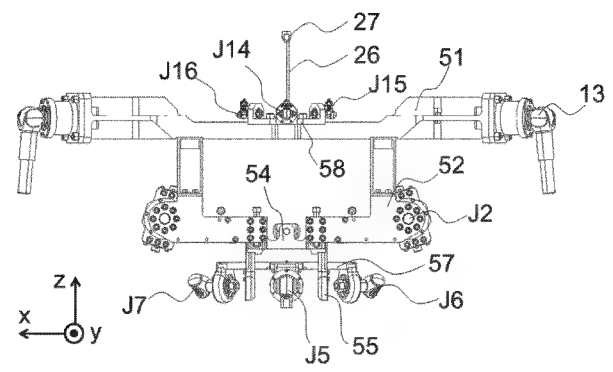
【 図 1 6 】



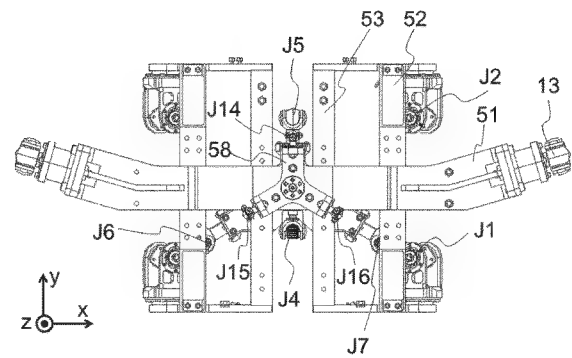
【 図 1 7 】



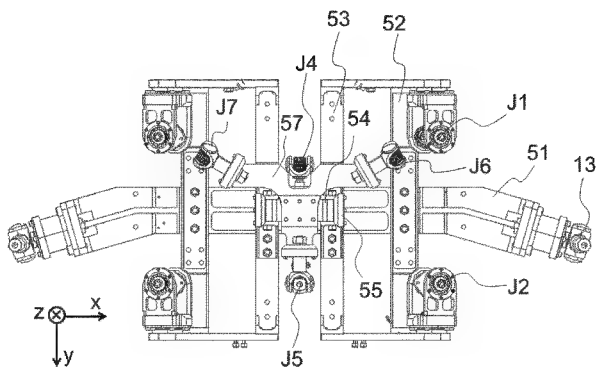
【 図 1 8 】



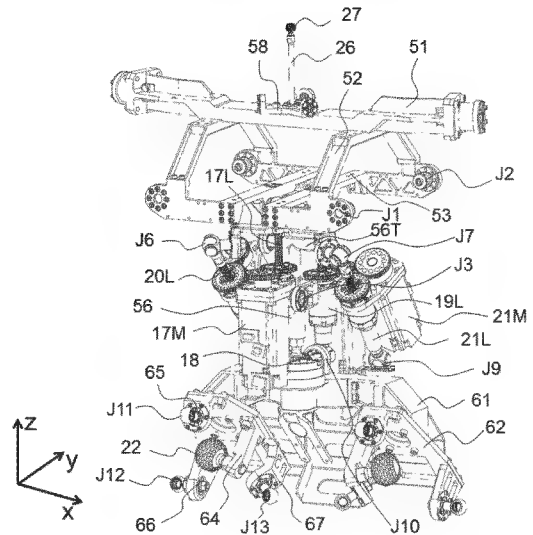
【 図 1 9 】



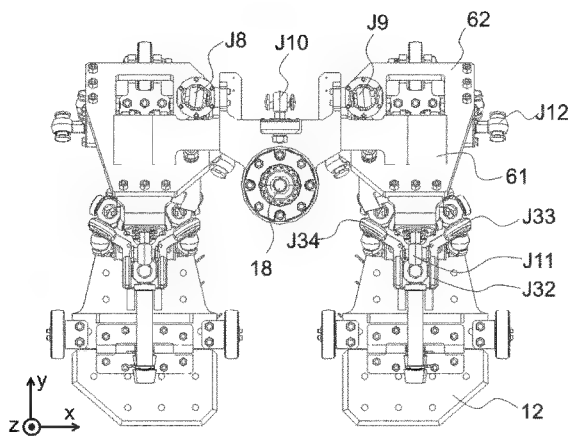
【 図 2 0 】



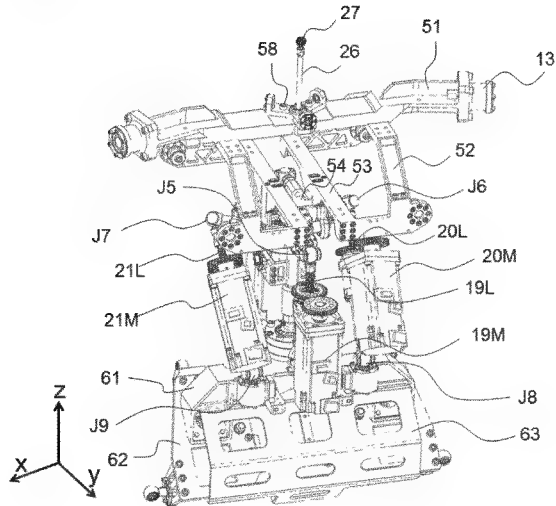
【 図 2 2 】



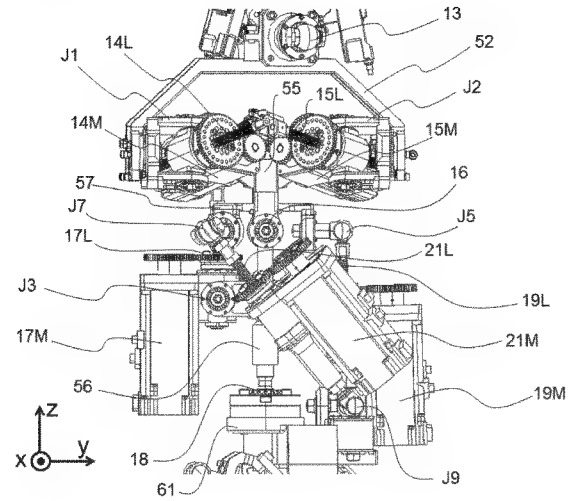
【 図 2 1 】



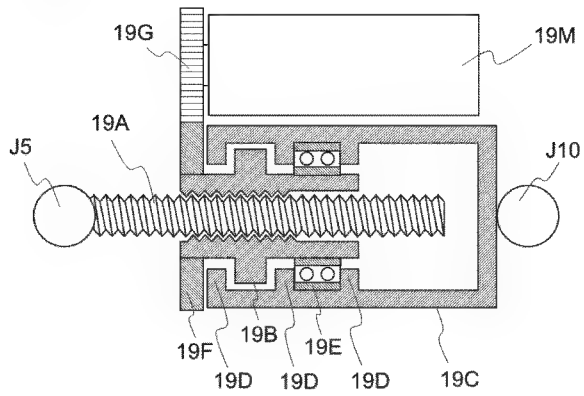
【 図 2 3 】



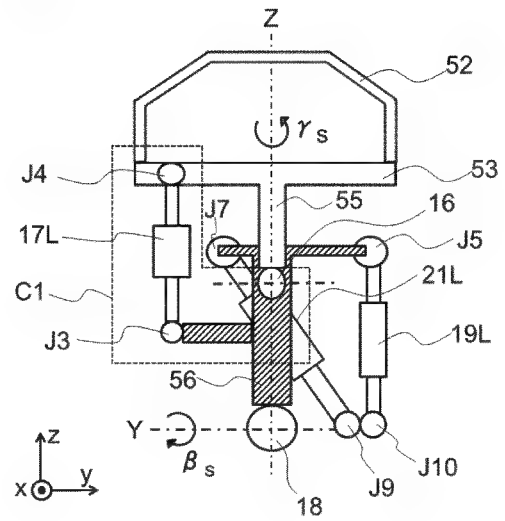
【 図 2 4 】



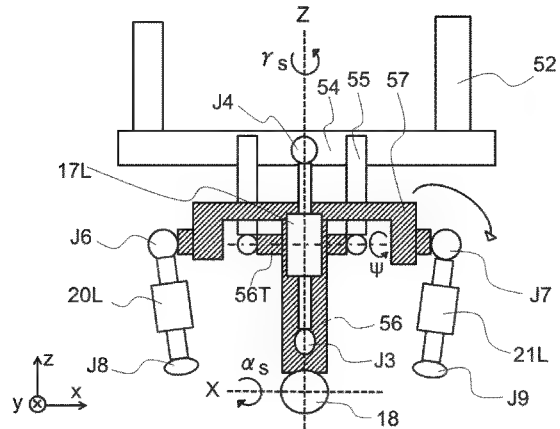
【 図 2 5 】



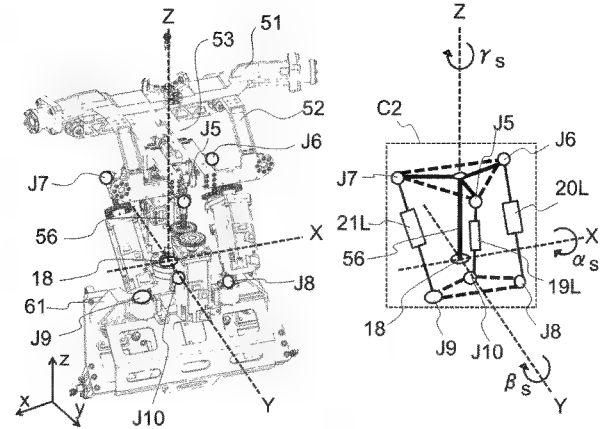
【 図 2 6 】



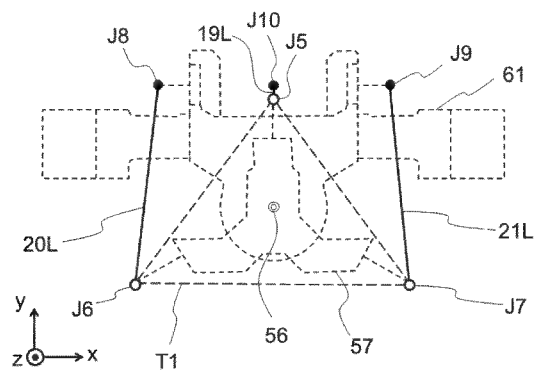
【 図 2 7 】



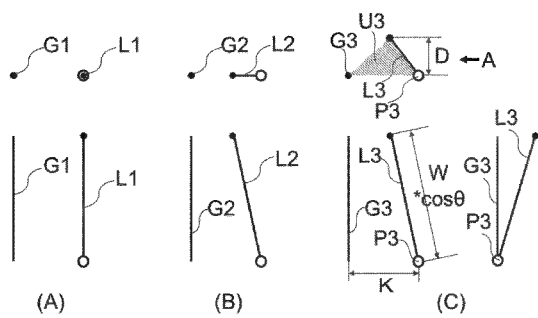
【 図 2 8 】



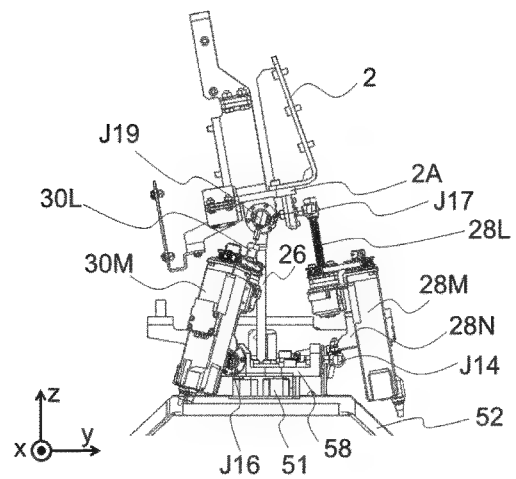
【 図 2 9 】



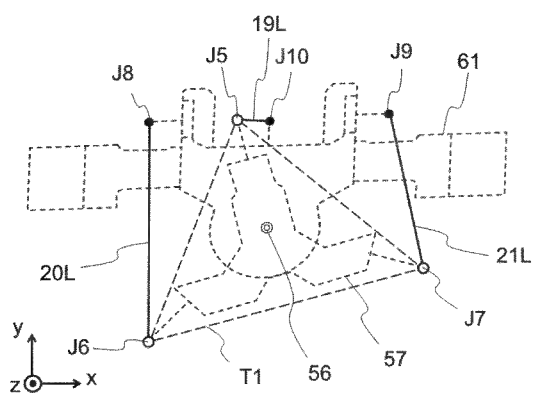
【 図 3 0 】



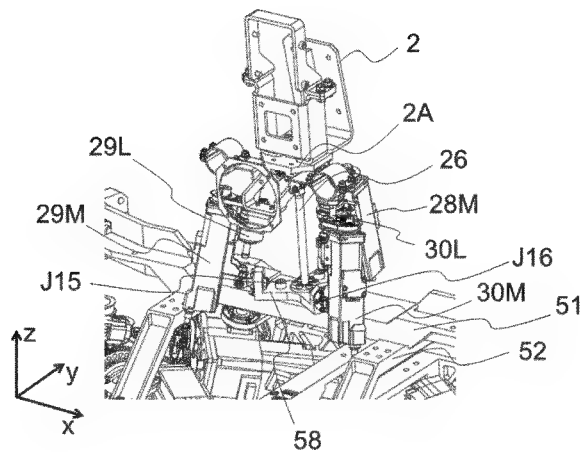
【 図 3 2 】



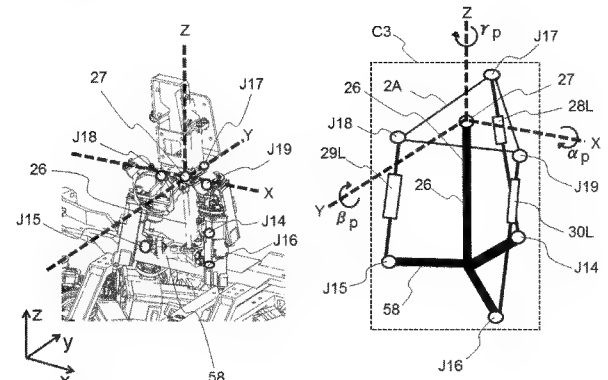
【 図 3 1 】



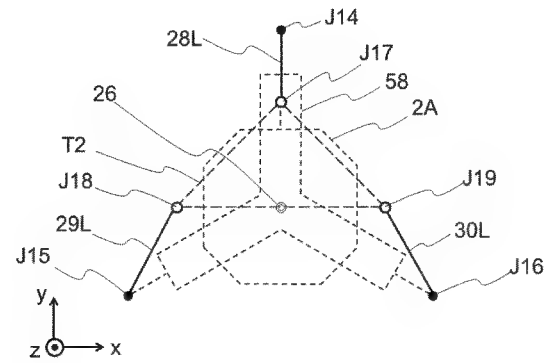
【 図 3 3 】



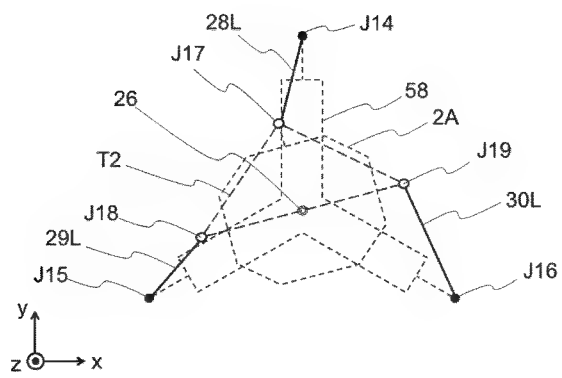
【 図 3 4 】



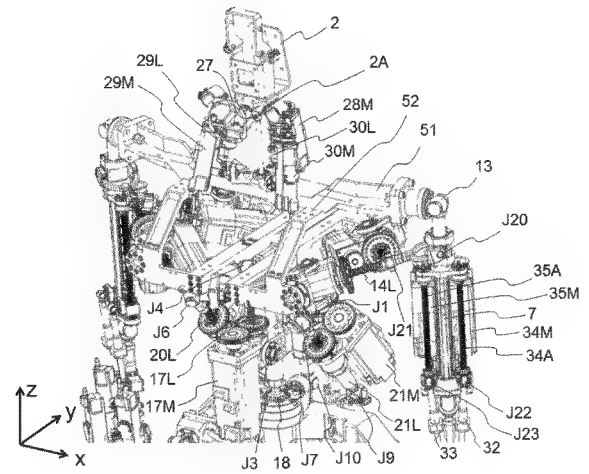
【 図 3 5 】



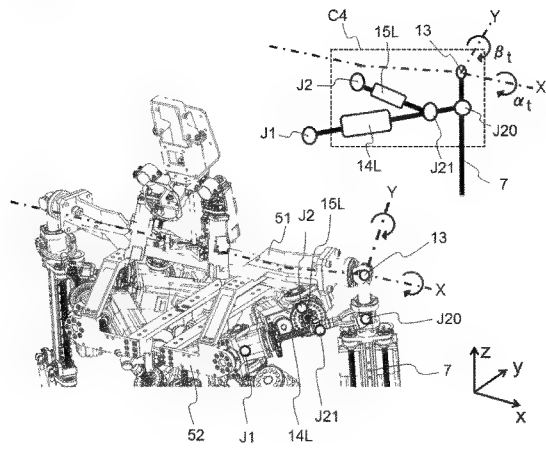
【 図 3 6 】



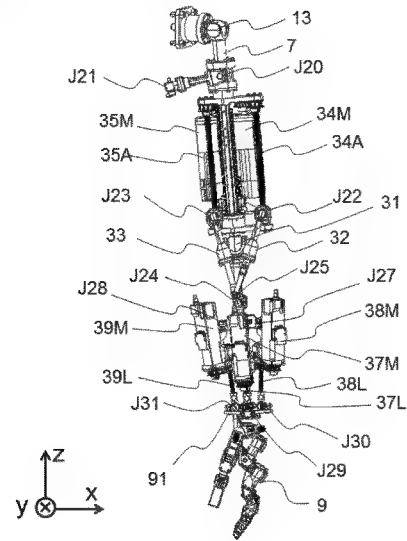
【 図 3 7 】



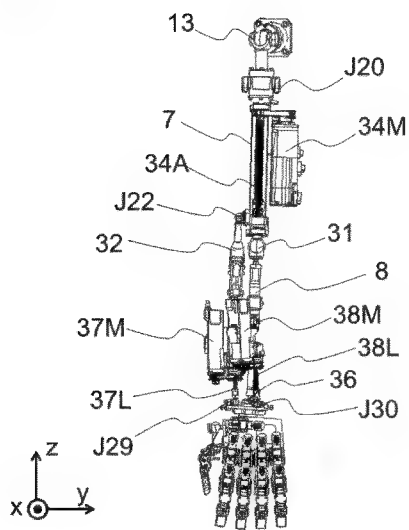
【 図 3 8 】



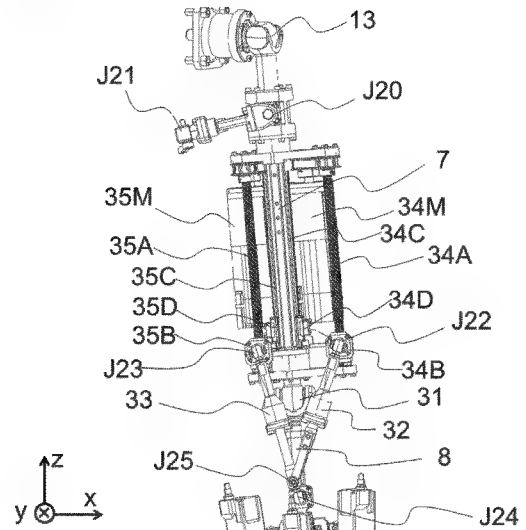
【 図 3 9 】



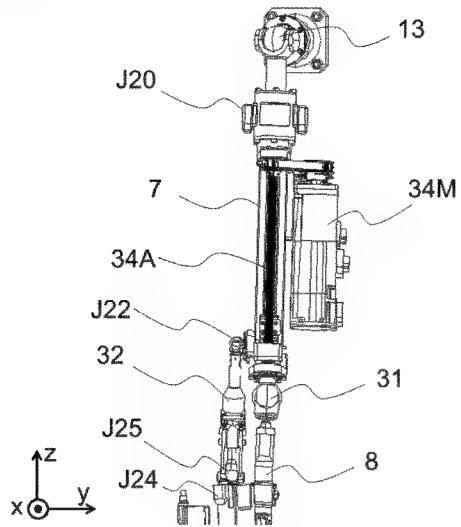
【 図 4 0 】



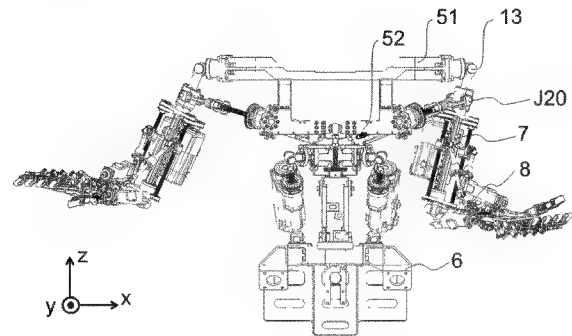
【 図 4 1 】



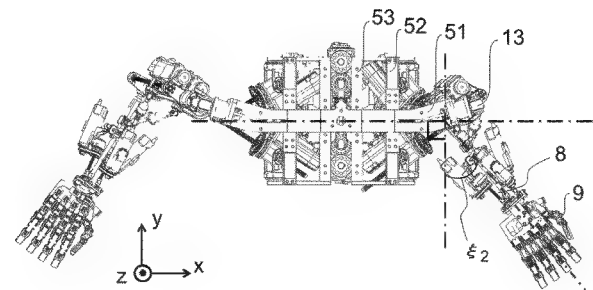
【 図 4 2 】



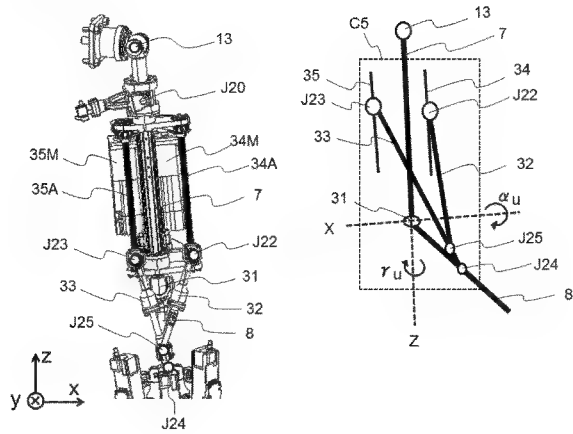
【 図 4 3 】



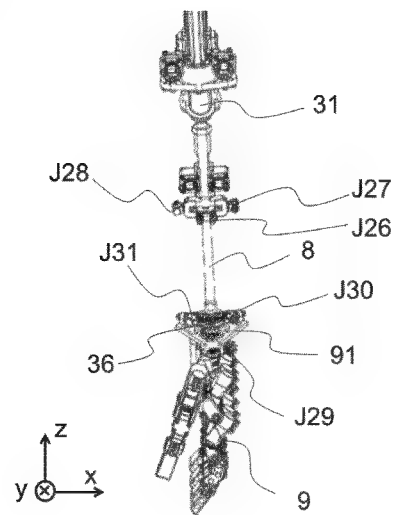
【 図 4 4 】



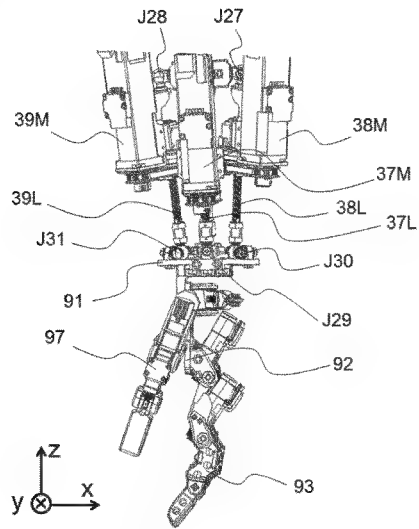
【 図 4 5 】



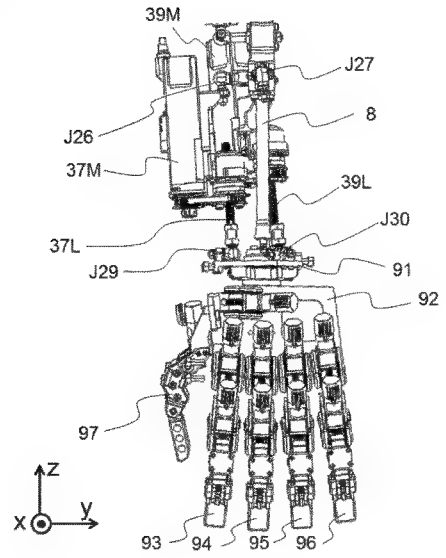
【 図 4 6 】



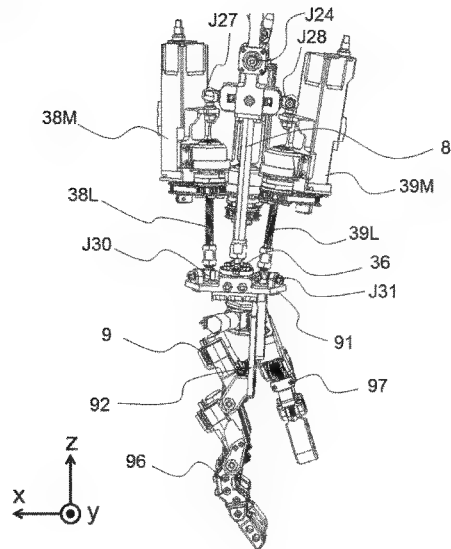
【 図 4 7 】



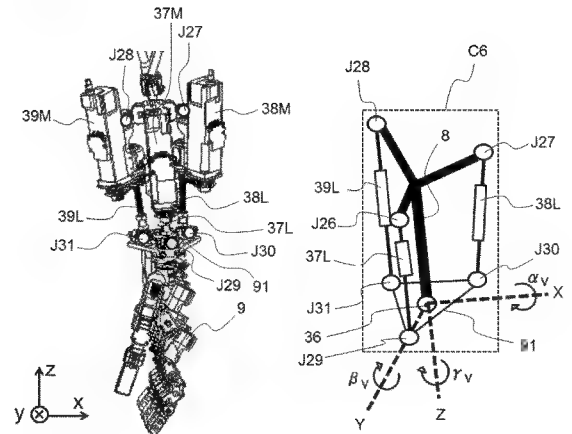
【 図 4 8 】



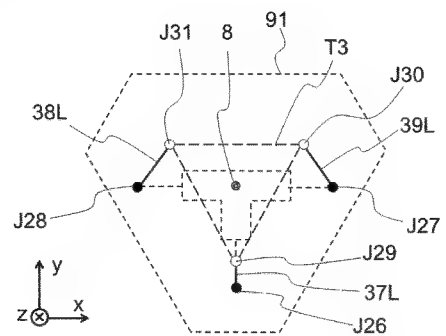
【 図 4 9 】



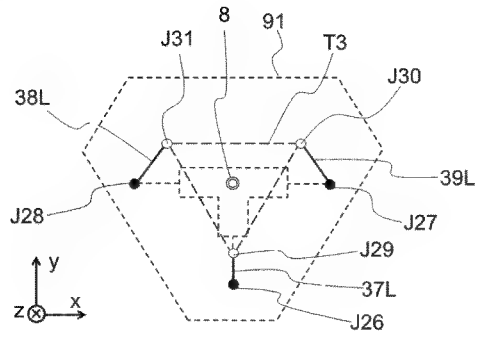
【 図 5 0 】



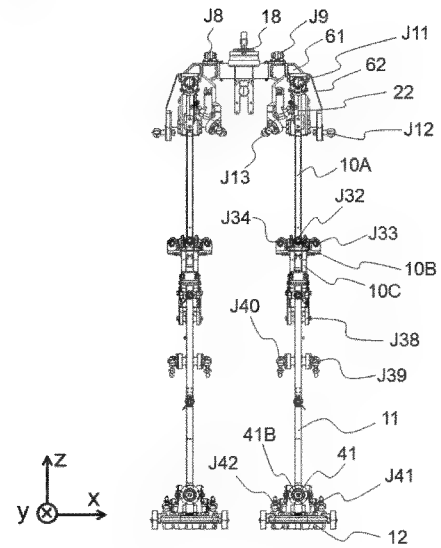
【 図 5 1 】



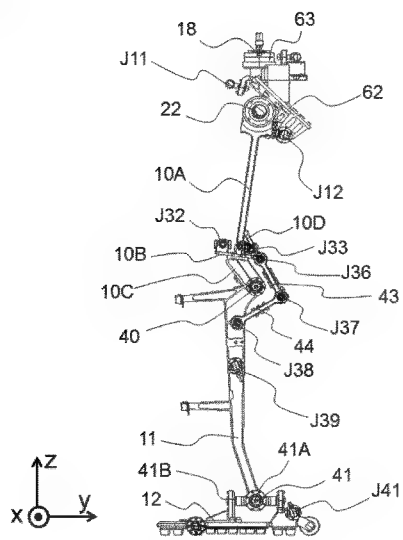
【 図 5 2 】



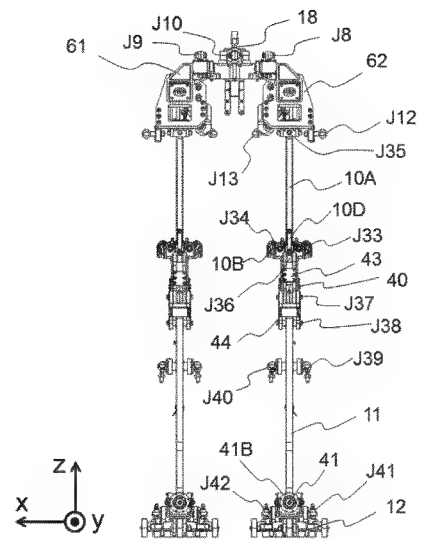
【 図 5 3 】



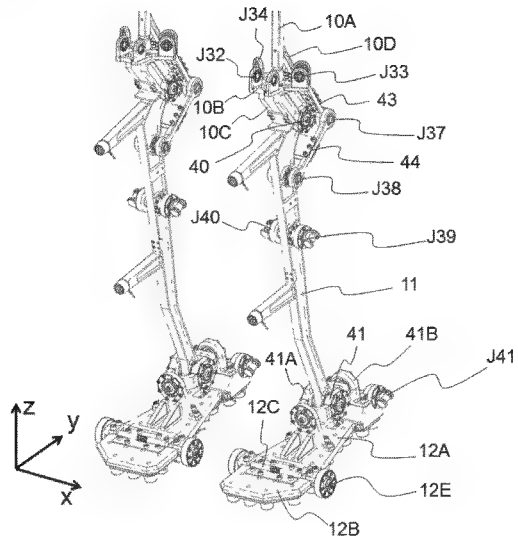
【 図 5 4 】



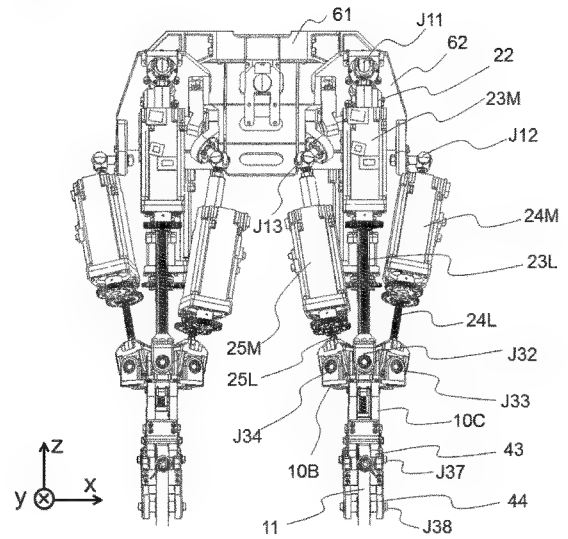
【 図 5 5 】



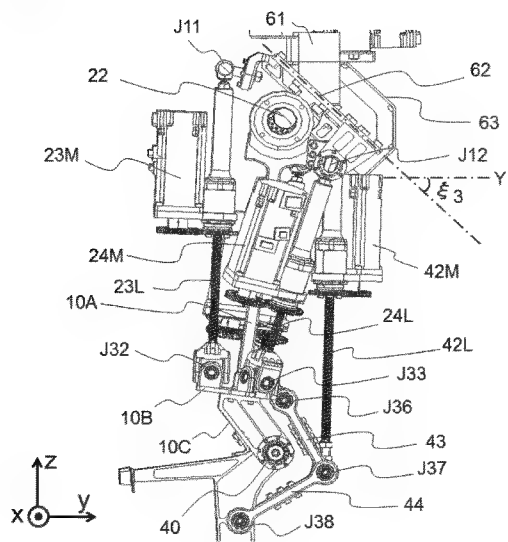
【 図 5 6 】



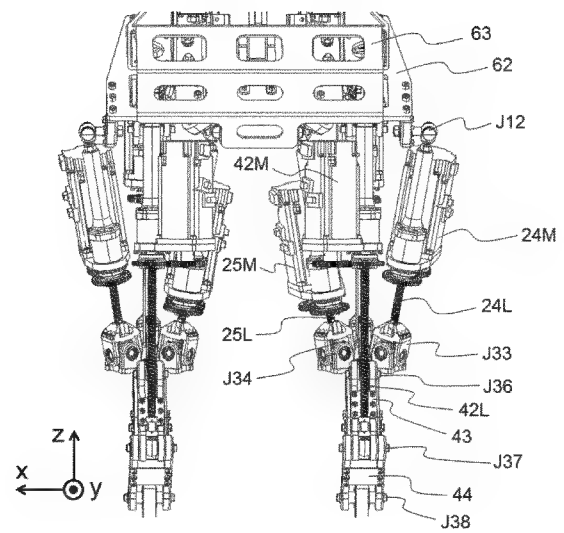
【 図 5 7 】



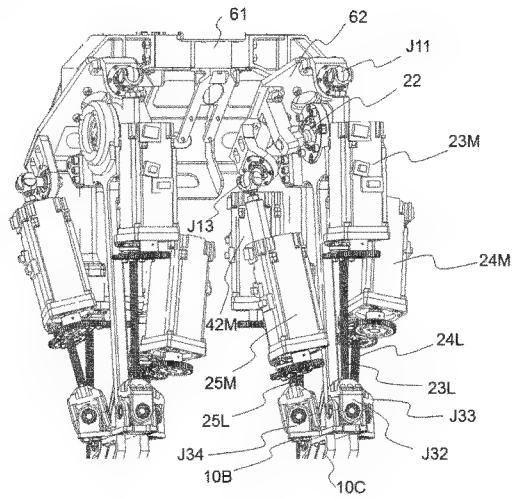
【 図 5 8 】



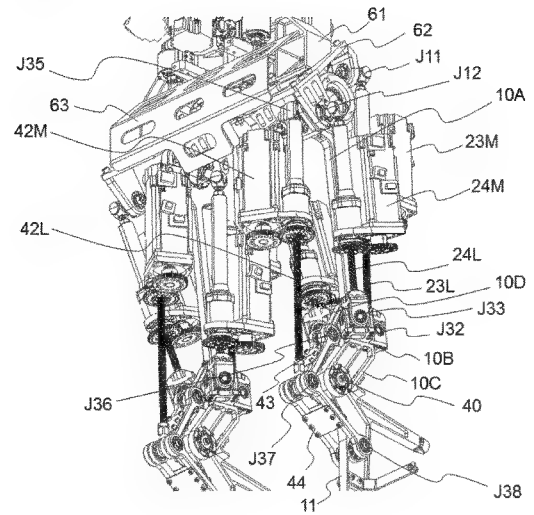
【 図 5 9 】



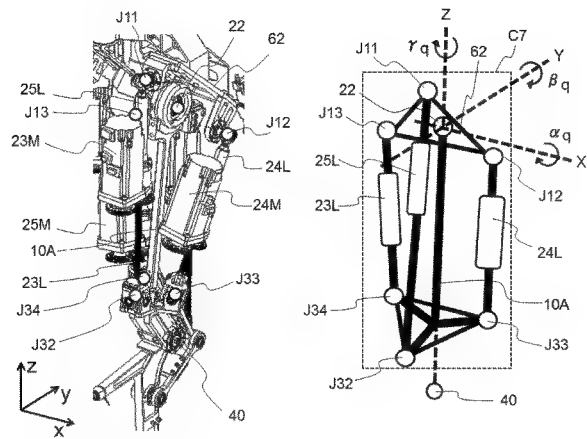
【 図 6 0 】



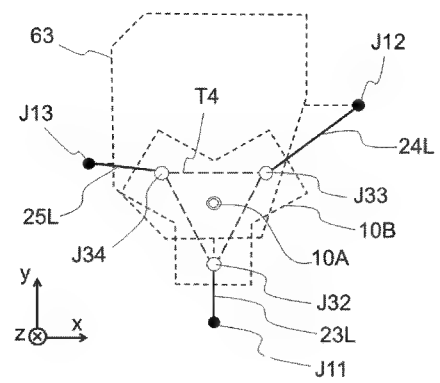
【 図 6 1 】



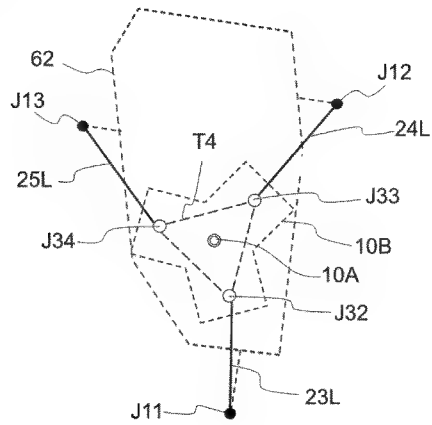
【 図 6 2 】



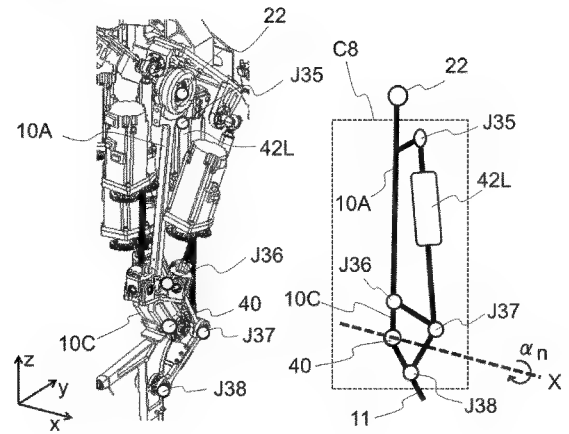
【 図 6 3 】



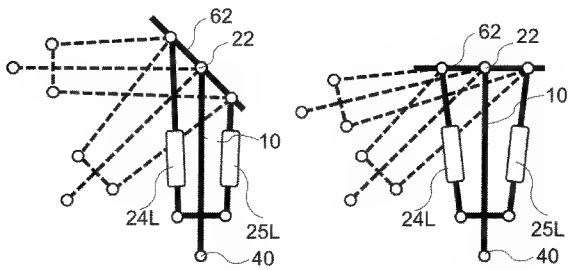
【 図 6 4 】



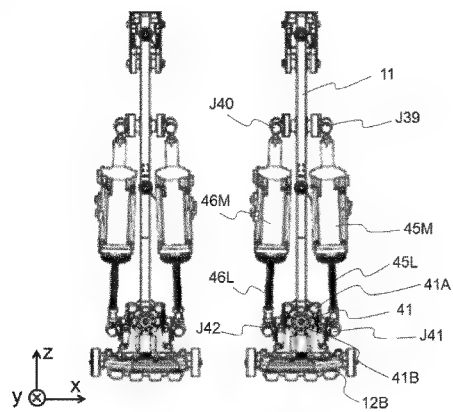
【 図 6 6 】



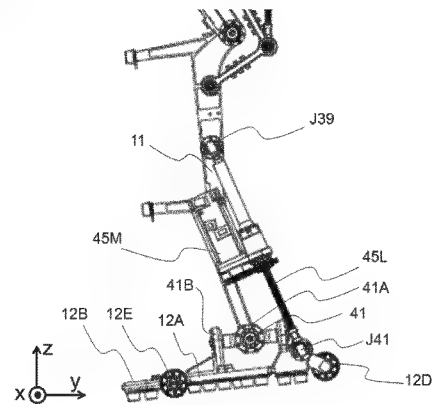
【 図 6 5 】



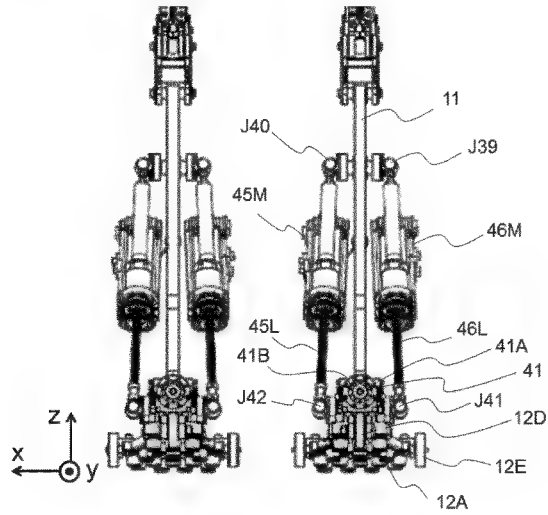
【 図 6 7 】



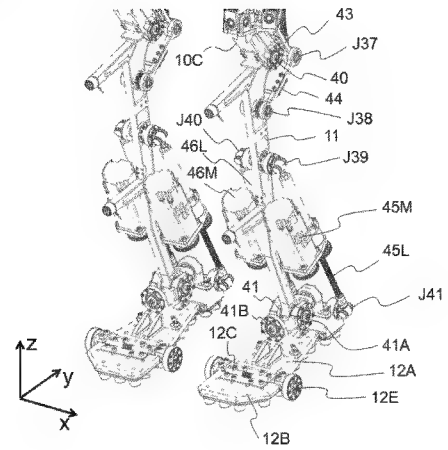
【 図 6 8 】



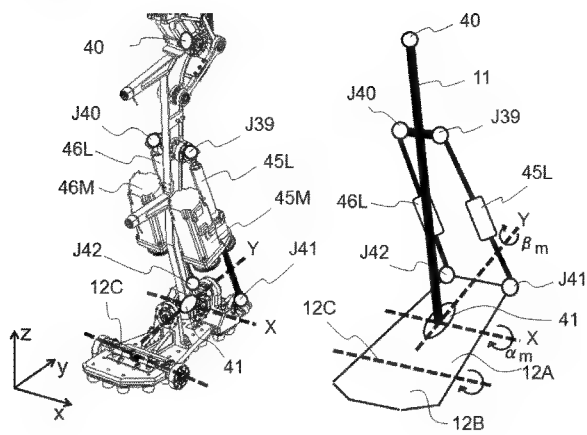
【 図 6 9 】



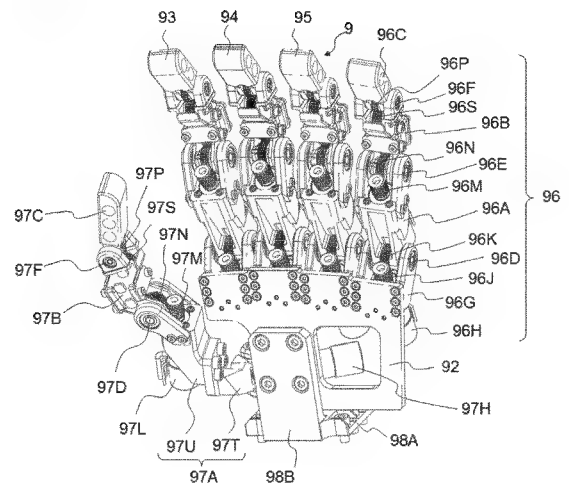
【 図 7 0 】



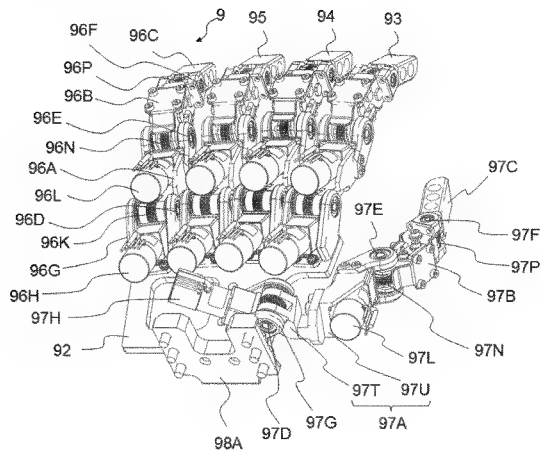
【 図 7 1 】



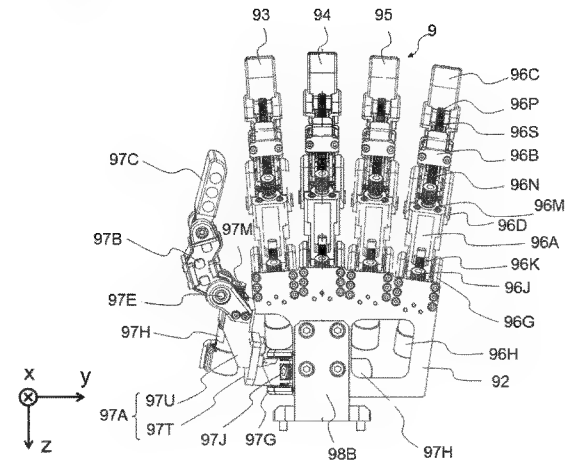
【 図 7 2 】



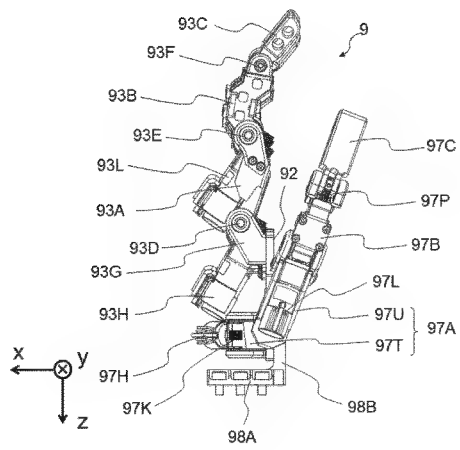
【 図 7 3 】



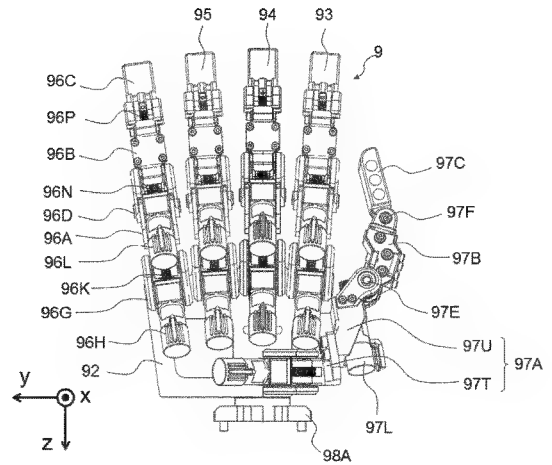
【 図 7 4 】



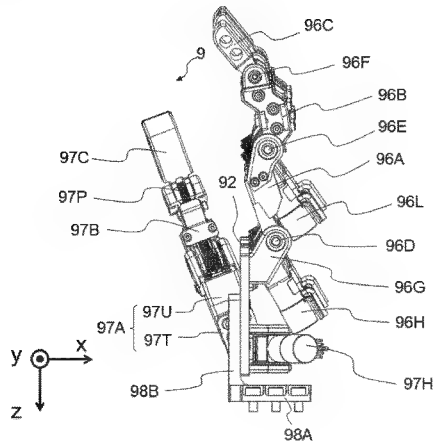
【 図 7 5 】



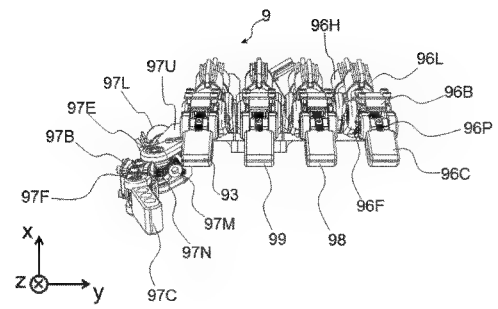
【 図 7 6 】



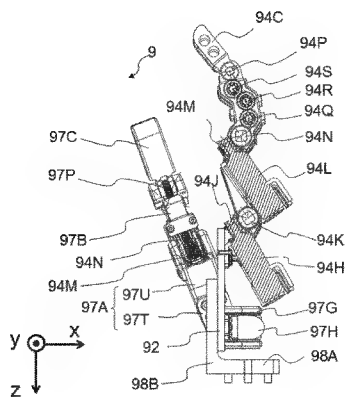
【 図 7 7 】



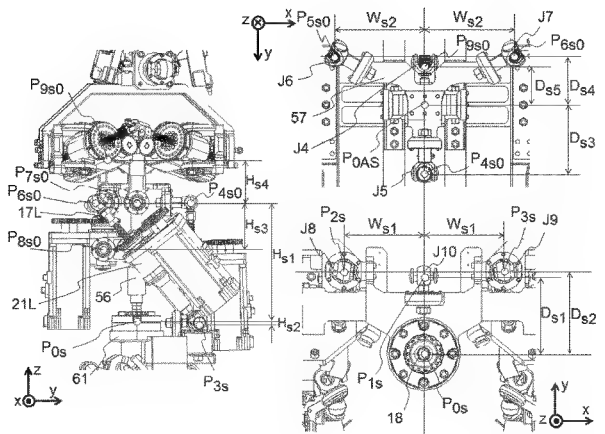
【 図 7 8 】



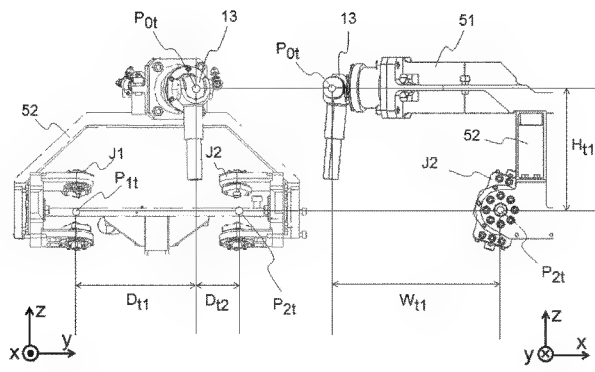
【 図 7 9 】



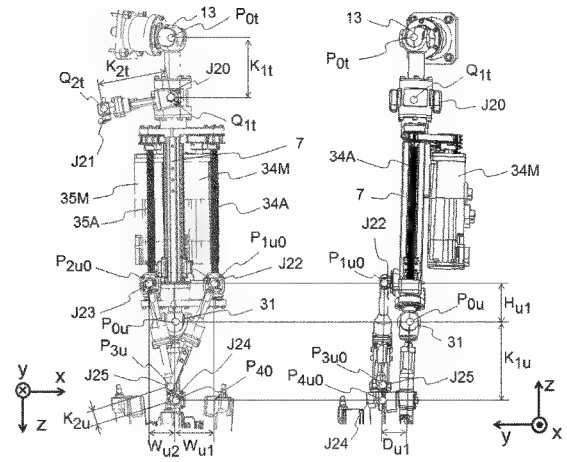
【 図 8 0 】



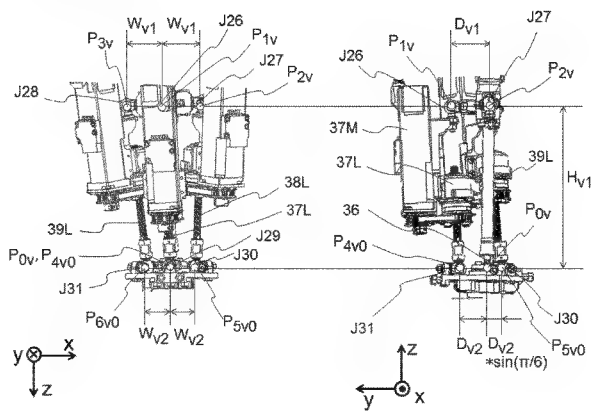
【 図 8 1 】



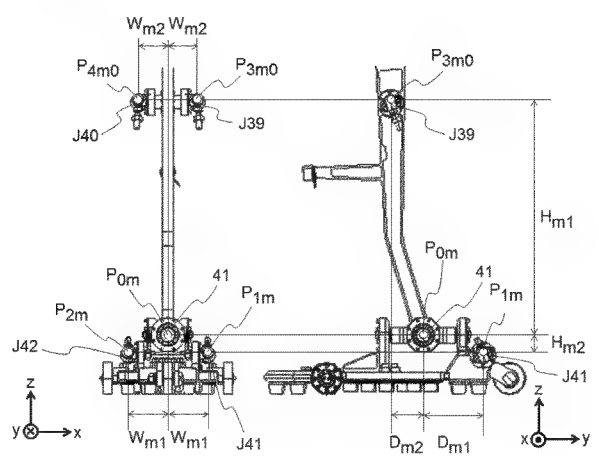
【 図 8 2 】



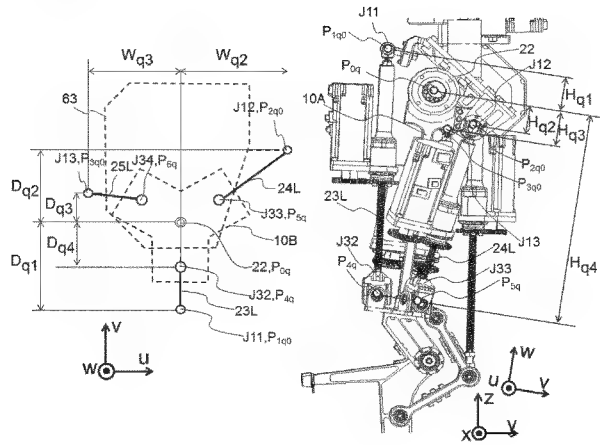
【 図 8 3 】



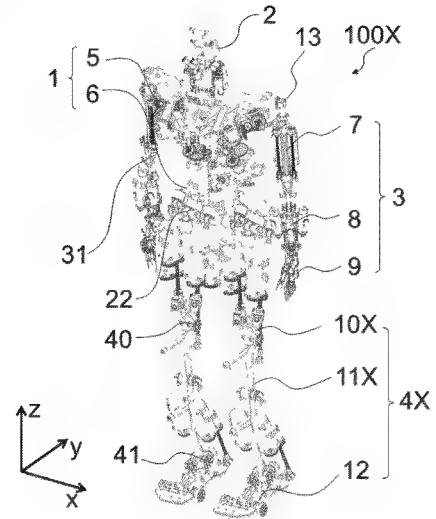
【 図 8 4 】



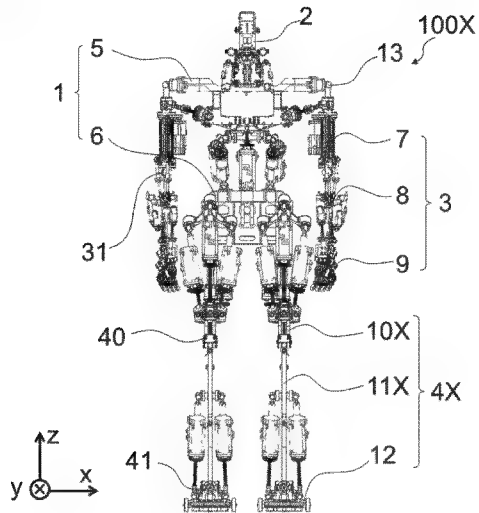
【 図 8 5 】



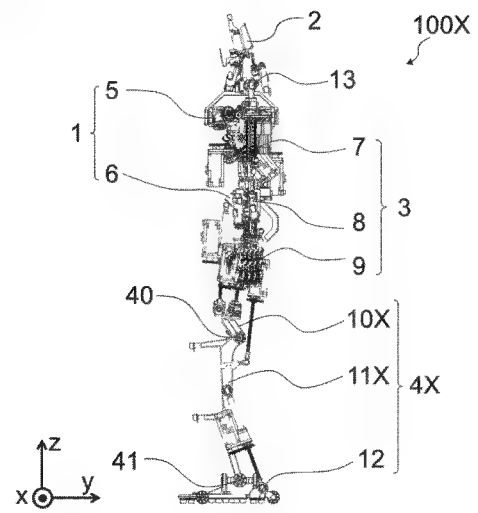
【 図 8 6 】



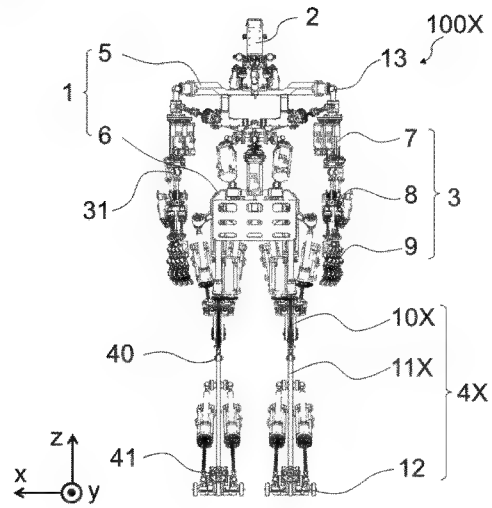
【 図 8 7 】



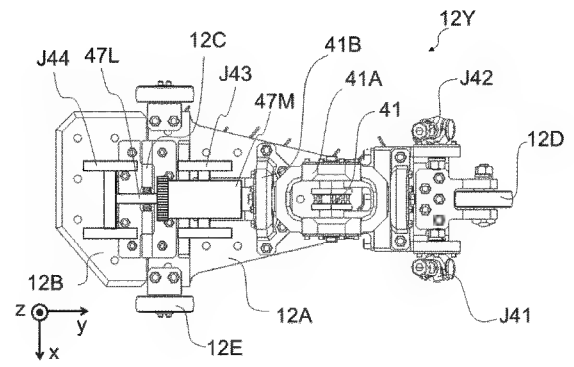
【 図 8 8 】



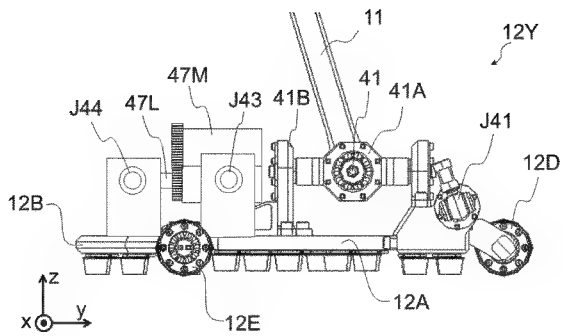
【 図 8 9 】



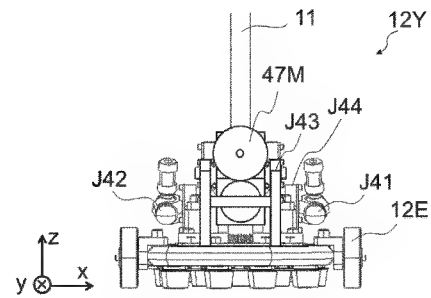
【 図 9 0 】



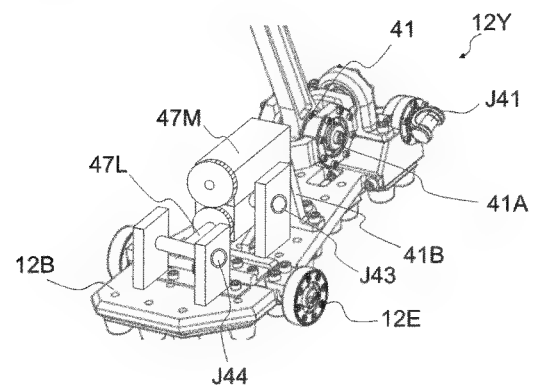
【 図 9 1 】



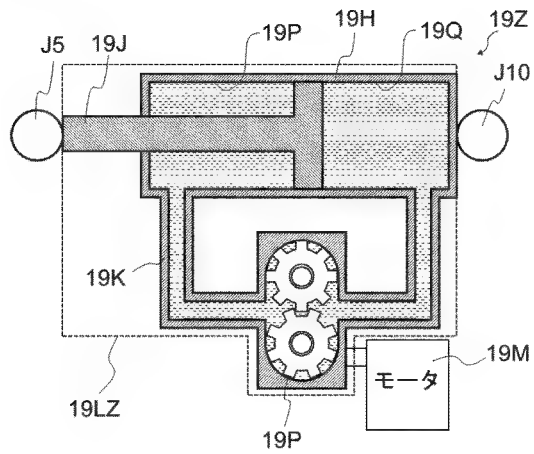
【 図 9 2 】



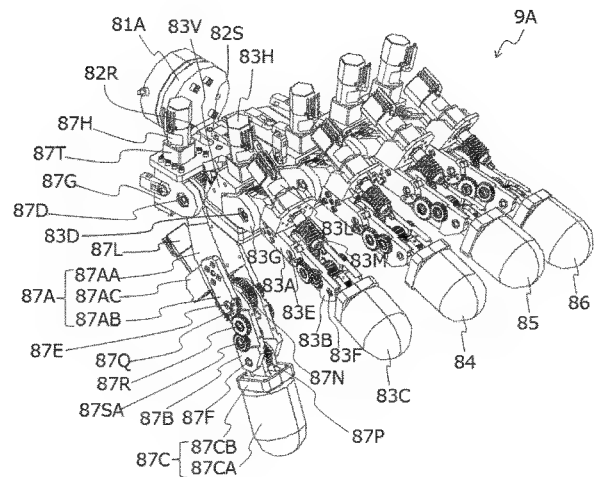
【 図 9 3 】



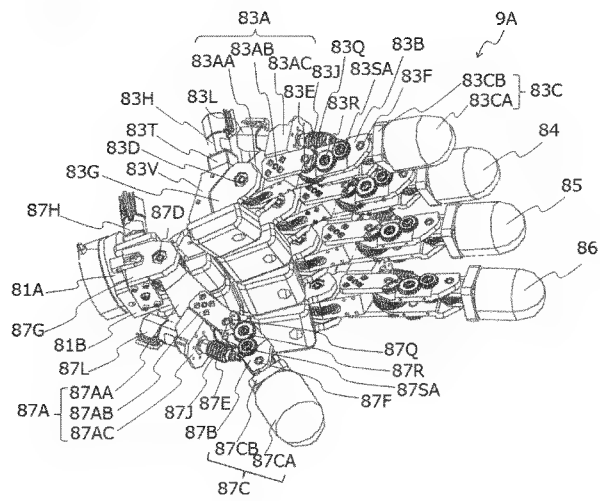
【 図 9 4 】



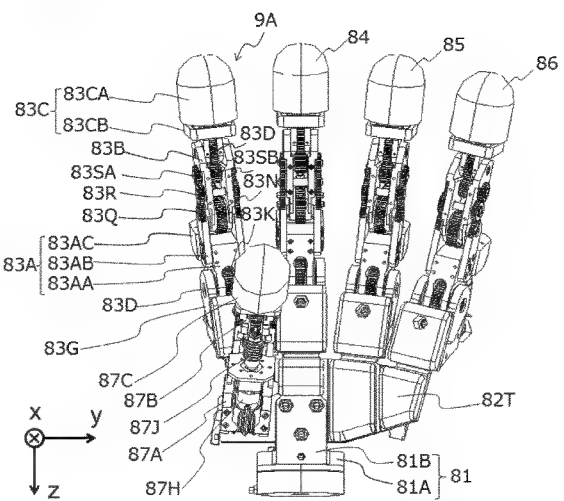
【 図 9 5 】



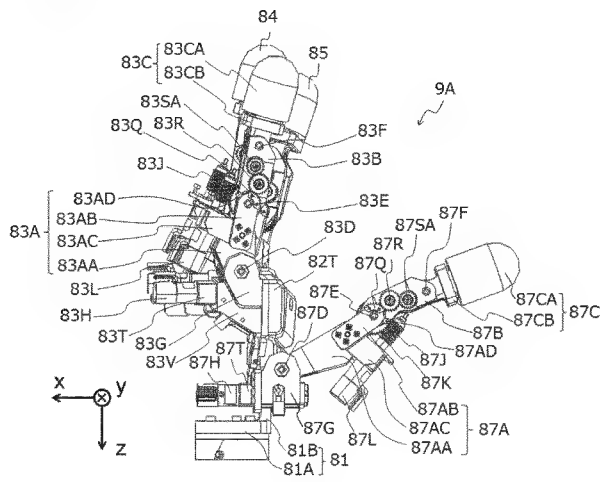
【 図 9 6 】



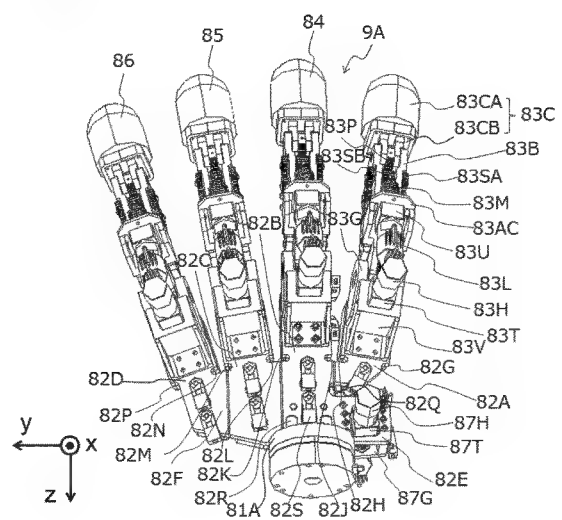
【 図 9 7 】



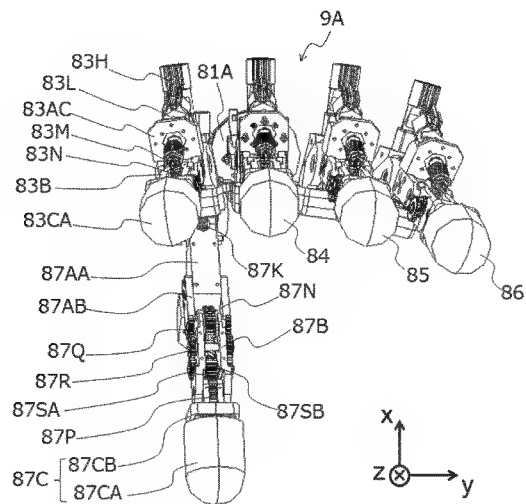
【 図 9 8 】



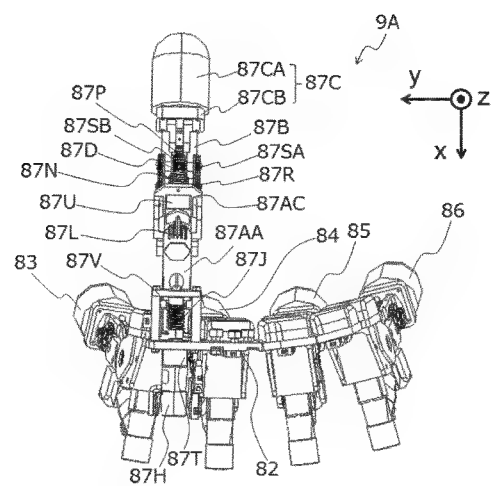
【 図 9 9 】



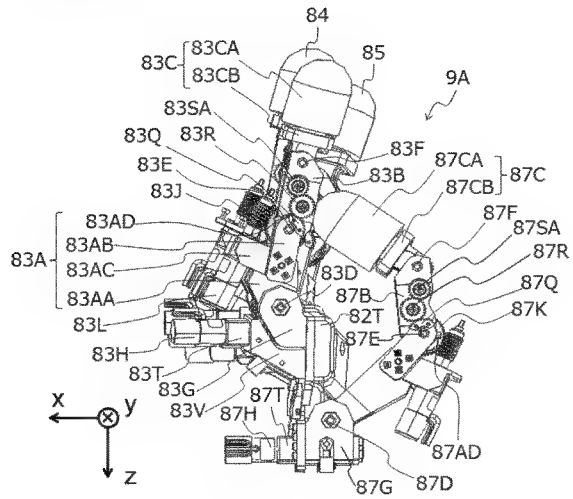
【 図 1 0 0 】



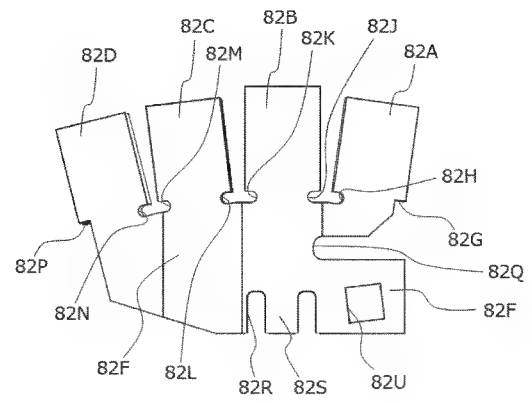
【 図 1 0 1 】



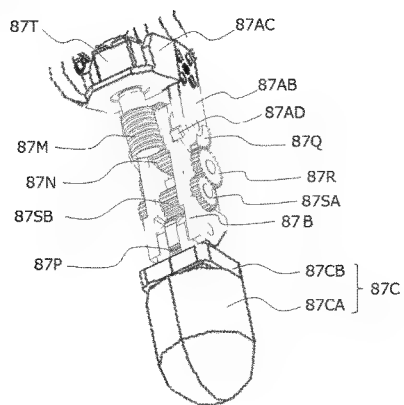
【 図 1 0 2 】



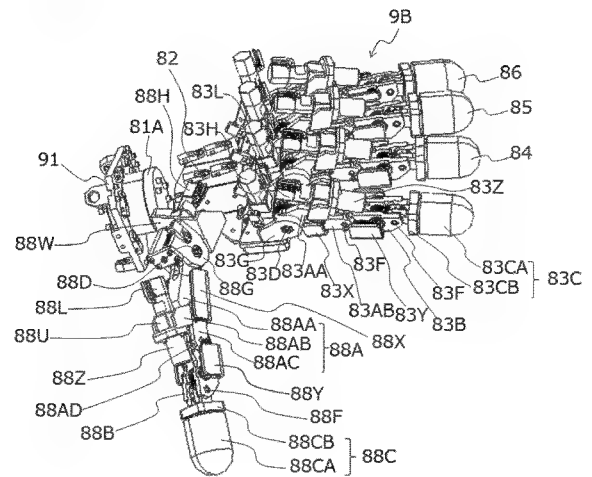
【 図 1 0 3 】



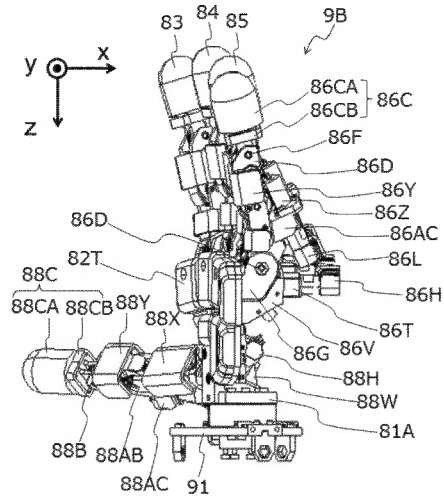
【 図 1 0 4 】



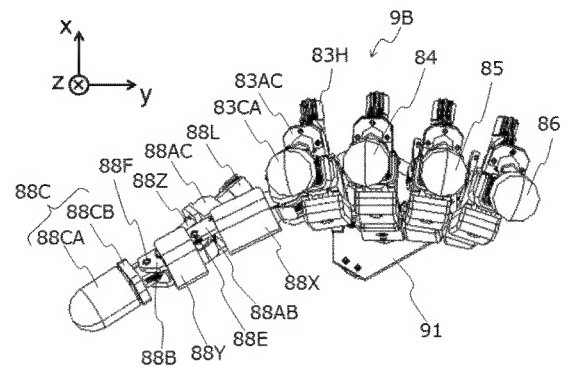
【 図 1 0 5 】



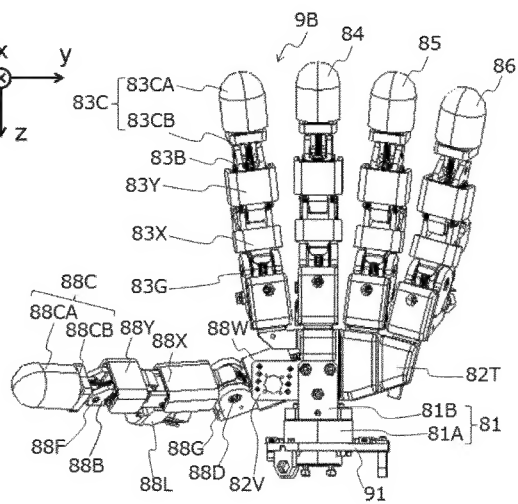
【 図 1 1 0 】



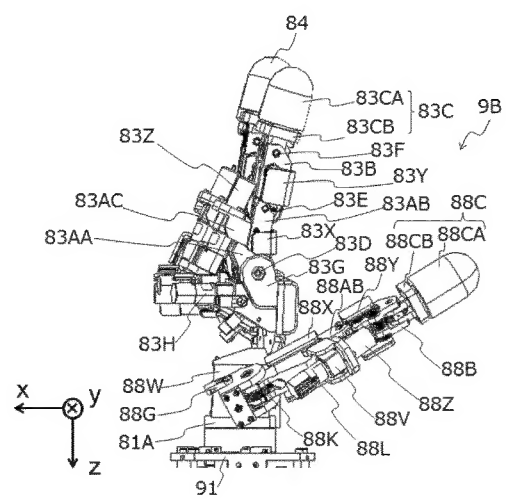
【 図 1 1 1 】



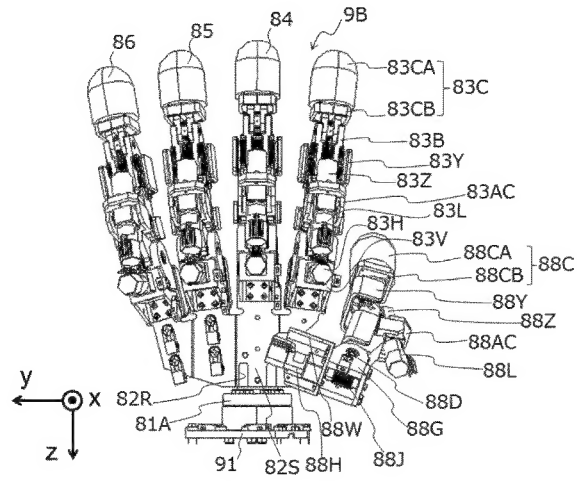
【 図 1 1 2 】



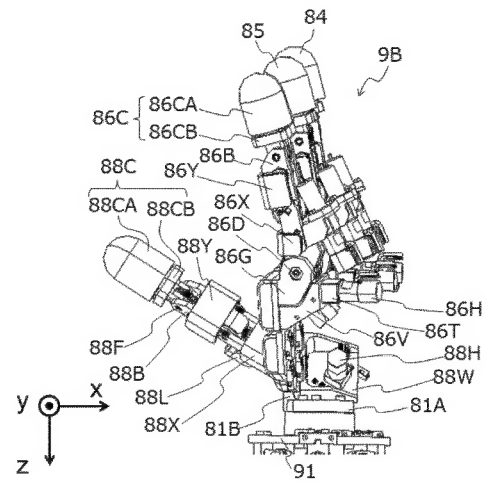
【 図 1 1 3 】



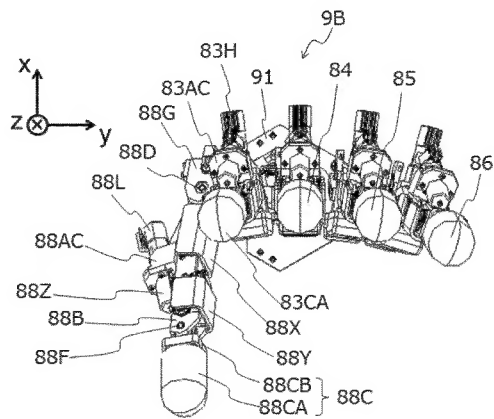
【 図 1 1 4 】



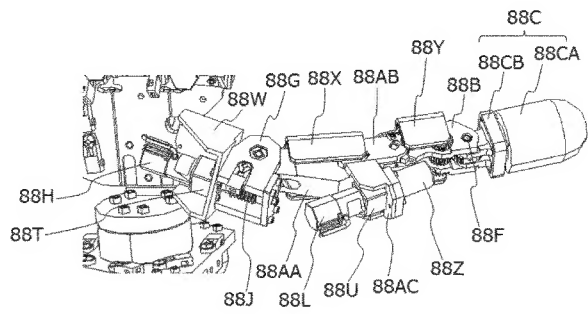
【 図 1 1 5 】



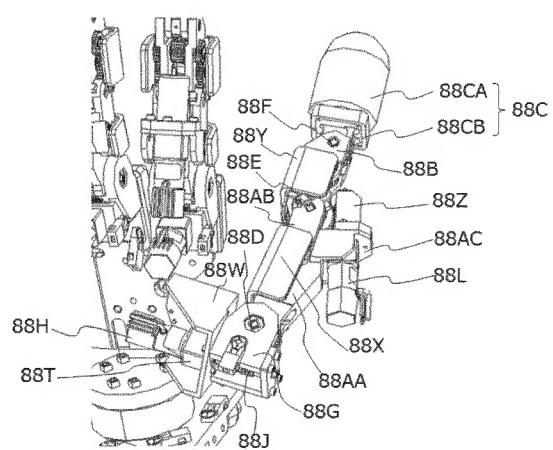
【 図 1 1 6 】



【 図 1 1 7 】



【 図 1 1 8 】



フロント ページの続き

(72) 発明者 服部 友哉

東京都千代田区丸の内二丁目7 番3 号 三菱電機株式会社内

(72) 発明者 廣瀬 光史

東京都千代田区丸の内二丁目7 番3 号 三菱電機株式会社内

審査官 貞光 大樹

(56) 参考文献 国際公開第2 0 1 6 / 0 6 8 0 9 8 (WO, A1)

国際公開第2 0 1 6 / 0 4 3 3 0 2 (WO, A1)

特開平1 0 - 9 4 9 8 3 (JP, A)

(58) 調査した分野(Int. Cl., DB 名)

B 2 5 J 1 / 0 0 - 2 1 / 0 2

F 1 6 H 2 1 / 0 0 - 2 1 / 5 4